

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN GÉNIE INDUSTRIEL

PAR
JALEL CHABCHOUB

ÉTUDE DE FIABILITÉ D'UN DÉTECTEUR INTELLIGENT
DES VAPEURS DE STYRÈNE

MAI 1998

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

"The future belongs to those who believe in the beauty of their dreams."

Eleanor Roosevelt

**À ma famille pour leur patience
À mon ange pour une dernière chance**

RÉSUMÉ

L'importance croissante dans le secteur de santé et sécurité au travail a obligé plusieurs organismes tant privés que gouvernementaux à améliorer les conditions et l'environnement de travail. Certains types d'industrie sont encore pris avec le problème de dégagement des gaz toxiques lors des opérations manufacturières. L'échantillonnage automatique de l'air est la solution idéale pour le contrôle continu en temps réel de la qualité de l'air dans l'usine et pour le maintien des concentrations en dessous de la limite fixée par la norme. La présente étude concerne l'étude de la fiabilité d'un nouveau système de détection des vapeurs de styrène, un gaz très nocif qui provoque des dommages irréversibles sur la santé. Le travail effectué a permis d'évaluer la fiabilité du système, d'analyser ses fonctions, et de soumettre des recommandations pour augmenter l'efficacité, la flexibilité et la disponibilité. La méthode utilisée pour la prédiction de la fiabilité des composants électroniques est le "Part Stress Analysis", décrite par la norme MIL-HDBK-217F. A la suite de l'évaluation théorique de la fiabilité du capteur intelligent des vapeurs de styrène, des tests au laboratoire et dans une usine modèle ont été réalisés. Ces tests ont permis d'évaluer le système dans le milieu industriel et d'identifier tous les paramètres et facteurs qui peuvent augmenter sa performance. La MTBF (Mean Time Between Failures) peut atteindre 8.6 ans selon le modèle de maintenance suivie. Des protections et des corrections

supplémentaires peuvent accroître la fiabilité du système actuel, lui conférer une meilleure sélectivité et permettre un meilleur taux d'utilisation des fonctions qu'il offre.

REMERCIEMENTS

À tous ceux qui ont participé dans l'élaboration des travaux et la réalisation des tests.

Un remerciement spécial pour mes codirecteurs M. James Agbebavi et M. Georges Abdounour pour leurs patience et encouragements, M. Kodjo Agbossou, chercheur postdoctoral , M. Mohamed Elhiri, professionnel de recherche pour leurs soutiens techniques et théoriques et Nancy Major, la femme de ma vie, pour sa patience, aide et encouragement pendant la rédaction.

Enfin toute ma reconnaissance pour les professeurs Phieu Lehuy de l'École de Technologie Supérieure et René Rochette de l'Université du Québec à Trois-Rivières pour leurs évaluations du mémoire.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	i
REMERCIEMENTS.....	iii
TABLE DE MATIÈRES.....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES.....	x

CHAPITRES

I INTRODUCTION

1.1 Introduction.....	1
1.2 Problématique de la recherche.....	4
1.3 Objectif de la recherche.....	6

II RAPPEL DES NOTIONS FONDAMENTALES DE LA FIABILITÉ

2.1 Introduction.....	8
2.2 Définition.....	9
2.3 Relations fondamentales.....	10
2.3.1 Propriétés des variables aléatoires continues.....	10
2.3.2 Fiabilité et probabilité.....	12
2.3.3 Lois de probabilité et fiabilité.....	16
2.3.4 Fiabilité des composants en série.....	21
2.3.5 Fiabilité des composants en parallèle.....	22
2.3.6 Fiabilité des combinaisons séries et parallèles.....	23
2.4 Redondance.....	23
2.5 Panne commune.....	24
2.6 Panne-sécurité et panne-danger.....	26
2.7 Demande répétée.....	29
2.8 Fiabilité et design.....	29

III REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

3.1 Histoire et évolution des senseurs de gaz.....	31
3.2 Fiabilité des systèmes.....	37
3.3 Fiabilité des systèmes de détection.....	47

3.4	Fiabilité des détecteurs des gaz organiques.....	51
3.5	Fiabilité des programmes.....	52

IV MÉTHODOLOGIE DE CALCUL DE LA FIABILITÉ

4.1	Prédiction de la fiabilité.....	57
4.1.1	Objectif.....	57
4.1.2	Méthodes de spécification de la fiabilité.....	58
4.1.3	Techniques de prédiction.....	62
4.1.4	Modèle mathématique pour la prédiction de la fiabilité pour les systèmes électroniques.....	65
4.2	Ajustement des taux de défaillance.....	68
4.2.1	Facteurs affectants le taux de défaillances.....	68
4.2.2	Effet de la température.....	69
4.2.3	Taux de défaillance et température.....	70
4.2.4	Effet du stress du voltage.....	74
4.3	Ajustement du taux de défaillance.....	74
4.3.1	Semi-conducteur discrets.....	80
4.3.1.1	Diode basse fréquence.....	80
4.3.1.2	Résistances.....	81
4.3.1.3	Condensateurs.....	82
4.3.1.4	Transformateurs.....	82
4.3.1.5	Connecteurs.....	83
4.3.1.6	Connexions.....	85
4.3.1.7	Cristal quartz.....	88
4.3.1.8	Relais.....	88
4.4	Composants micro-électroniques.....	90
4.4.1	Microcircuits.....	92
4.4.2	Microcircuit hybride.....	93

V PRÉSENTATION DU CAPTEUR INTELLIGENT DU STYRÈNE

5.1	Description générale.....	94
5.1.1	Composition du système.....	95
5.2	Composition du bloc-capteur intelligent.....	96

VI DÉFINITIONS DU SYSTÈME

6.1	Fonction du système.....	100
6.2	Définition des défaillances.....	102
6.2.1	Cas d'utilisation d'un seul module intelligent.....	102
6.2.2	Cas d'utilisation en réseau.....	103
6.3	Définition des conditions d'utilisation.....	104
6.3.1	Profil d'utilisation.....	104
6.3.2	Conditions environnementales.....	105
6.4	Définition des conditions de maintenance.....	106
6.5	Développement du diagramme bloc du module intelligent.....	106
6.6	Établissement du modèle mathématique.....	112
6.7	Compilation des listes de composants et fiabilité de chaque bloc.....	115
6.8	Combinaison des taux de défaillance des blocs et fiabilité du système.....	131
6.9	Synthèse.....	133

VII TESTS AU LABORATOIRE

7.1	Objectif.....	135
7.2	Étalonnage des capteurs.....	136
7.2.1	Capteur d'humidité.....	136
7.2.2	Capteur de température.....	140
7.2.3	Conditionneur de styrène.....	141
7.2.4	Conditionneur de pression.....	142
7.3	Simulations des grandeurs physiques des détecteurs.....	144
7.4	Tests expérimentaux.....	147
7.5	Synthèse.....	162

VIII VALIDATION DU DÉTECTEUR INTELLIGENT DES VAPEURS DE STYRÈNE EN MILIEU INDUSTRIEL

8.1	Objectif.....	164
8.2	Préparation et montage du prototype industriel.....	165
8.2.1	Amélioration matérielle.....	165
8.2.2	Amélioration logicielle.....	166
8.3	Tests dans l'usine.....	167
8.3.1	Présentation de l'entreprise.....	168
8.3.2	Procédure et résultats des tests.....	171
8.4	Synthèse.....	216

IX	DISCUSSION.....	218
X	RECOMMANDATIONS.....	253
	10.1 Recommandations générales.....	253
	10.2 Recommandation pour la fabrication d'un nouveau prototype.....	259
	10.3 Recommandation pour l'utilisation en milieu industriel.....	263
	Bibliographie.....	265
	Annexe I. Principaux tableaux utilisés pour la prédiction de la fiabilité	
	Annexe II. Routines principales utilisées dans LABVIEW	
	Annexe III. Effets combinés des facteurs environnementaux et techniques de protection	
	Annexe IV. Liste de vérification de la conception (Reliability design checklist)	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4.1	Méthodes de spécifications de la fiabilité en fonction du niveau de complexité et conditions d'utilisations.....	61
Tableau 4.2	Exemple d'utilisation des techniques en fonctions des étapes de développement.....	64
Tableau 4.3	Température moyenne des boîtiers en fonction de l'environnement.....	72
Tableau 4.4	Facteurs d'ajustements des taux de défaillances en fonction du composant.....	77
Tableau 4.5	Valeur de ECF.....	86
Tableau 4.6	Facteur de charge en fonction du type de charge.....	89
Tableau 4.7	Détermination du nombre des portes en fonction du nombre des transistors.....	92
Tableau 6.7.1	Bloc capteur d'humidité.....	116
Tableau 6.7.2	Bloc transducteur de styrène.....	117
Tableau 6.7.3	Bloc d'alimentation.....	118
Tableau 6.7.4	Bloc convertisseur A/N.....	119
Tableau 6.7.5	Bloc microcontrôleur.....	120
Tableau 6.7.6	Bloc transducteur de température.....	121
Tableau 6.7.7	Bloc convertisseur N/A.....	122
Tableau 6.7.8	Bloc capteur de pression.....	123

Tableau 6.7.9	Bloc circuit de référence du convertisseur N/A.....	124
Tableau 6.7.10	Bloc du circuit de fonctionnement de l'horloge du convertisseur A/N.....	125
Tableau 6.7.11	Bloc interface de communication.....	124
Tableau 6.7.12	Bloc horloge externe.....	126
Tableau 6.7.13	Bloc étage d'amplification.....	127
Tableau 6.7.14	Bloc circuit de référence du convertisseur A/N.....	128
Tableau 6.7.15	Bloc circuit de référence du microcontrôleur.....	129
Tableau 6.8.1	Taux de défaillance et pourcentage de contribution de chaque bloc dans la défaillance totale du détecteur intelligent des vapeurs de styrène.	132
Tableau 7.1	Données théoriques du capteur d'humidité	138
Tableau 7.2	Données expérimentales du capteur d'humidité	139
Tableau 7.3	Évaporation du styrène liquide en fonction de la température et de la pression.....	155
Tableau 9.1	Taux de défaillance et pourcentage de contribution de chaque bloc.....	218
Tableau 9.2	Augmentation du taux de défaillance en fonction de la température ambiante.	226

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1	Variation du taux de défaillance en fonction du temps.....	17
Figure 2.2	Configuration en série.....	21
Figure 2.3	Configuration en parallèle.....	22
Figure 2.4	Configuration parallèle-série.....	23
Figure 3.1	Type de senseur et principe de détection.....	33
Figure 3.2	Plage de détection des senseurs de gaz	36
Figure 3.3	Limite d'un système et zone de défaillance.....	48
Figure 3.4	Logigramme d'un programme.....	55
Figure 4.1	Définition de la fiabilité.....	58
Figure 5.1	Schéma synoptique du système de mesure.....	96
Figure 5.2	Schéma synoptique du bloc-capteur intelligent.....	98
Figure 6.1	Boîtier correspondant au module intelligent de détection des vapeurs de styrène.....	102
Figure 6.2	Développement primaire des blocs du module intelligent de détection des vapeurs de styrènes.....	108
Figure 6.3	Découpage du système en fonction du rôle des circuits dans le module.....	110
Figure 6.4	Découpage du système en fonction du rôle des circuits dans le module appliquée au schéma du circuit.....	111
Figure 7.1	Montage d'étalonnage du transmetteur d'humidité.....	137
Figure 7.2	Courbe d'étalonnage du détecteur d'humidité.....	139
Figure 7.3	Courbe d'étalonnage du capteur de température.....	141
Figure 7.4	Courbe d'étalonnage du capteur de pression relative.....	143
Figure 7.5	Courbe d'étalonnage du capteur de pression absolue.....	143
Figure 7.6	Résultats et affichage des acquisition des données du capteur Bloc 2.....	146
Figure 7.7	Schéma du dispositif expérimental	149
Figure 7.8	Affichage de bloc 1 dans le milieu ambiant.....	152
Figure 7.9	Affichage de bloc 2 dans le milieu ambiant.....	153
Figure 7.10	Affichage de bloc 1 dans le milieu ambiant (début).....	156
Figure 7.11	Affichage de bloc 1 dans le milieu ambiant (suite).....	157
Figure 7.12	Affichage de bloc 1 dans le milieu ambiant (fin).....	158
Figure 7.13	Affichage de bloc 2 dans la chambre C (début).....	159
Figure 7.14	Affichage de bloc 2 dans la chambre C (suite).....	160
Figure 7.15	Affichage de bloc 2 dans la chambre C (fin).....	161
Figure 8.1	Plan de maillage de l'entreprise Fibre Prestige.....	170
Figure 8.2	Plan de localisation des points de positionnement du	

	détecteur intelligent des vapeurs de styrène.....	173
Figure 8.3	Écran d'affichage, P1, P2 et P3 (jour 1).....	175
Figure 8.4	Concentration des vapeurs de styrène (ppm) au P1, P2 et P3 (jour 1).....	176
Figure 8.5	Concentration des vapeurs de styrène (ppm) au P1, P2 et P3 (jour 1)	179
Figure 8.6	Concentration des vapeurs de styrène (ppm) au P3 (jour 1).....	182
Figure 8.7	Écran d'affichage, P3 (jour 2).....	183
Figure 8.8	Concentration des vapeurs de styrène (ppm) du jour 2 au P3	185
Figure 8.9	Concentration des vapeurs de styrène (ppm) au P3 (jour 2)	186
Figure 8.10	Écran d'affichage, P3 (jour 3).....	187
Figure 8.11	Concentration des vapeurs de styrène (ppm) du jour 3 au P3.....	189
Figure 8.12	Concentration des vapeurs de styrène (ppm) au P3 (jour 3).....	190
Figure 8.13	Concentration des vapeurs de styrène (ppm) au P3 (jour 3).....	191
Figure 8.14	Concentration des vapeurs de styrène (ppm) au P3 (jour 3).....	192
Figure 8.15	Écran d'affichage, P4 au P12 (jour 4).....	194
Figure 8.16	Écran d'affichage, P4 au P12 (jour 4).....	195
Figure 8.17	Écran d'affichage, P5 (jour 4)	196
Figure 8.18	Écran d'affichage, P5 (jour 5)	205
Figure 8.19	Écran d'affichage, P5 (jour 6)	206
Figure 8.20	Écran d'affichage, P5 (jour 7)	207
Figure 8.21	Écran d'affichage, P5 (jour 8)	208
Figure 8.22	Écran d'affichage, P5 (jour 9)	209
Figure 8.23	Écran d'affichage, P13, P14 et P15 (jour 10)	211
Figure 8.24	Concentration des vapeurs de styrène (ppm) au P13, P14 et P15 (jour 10)	212
Figure 9.1	Variation du taux de défaillance du circuit de détection de zéro en fonction de la température.....	228
Figure 9.2	Variation du taux de défaillance du circuit de référence du convertisseur A/N en fonction de la température.....	229
Figure 9.3	Variation du taux de défaillance du circuit étage d'amplification en fonction de la température.....	230
Figure 9.4	Variation du taux de défaillance du circuit de l'horloge externe en fonction de la température.....	231
Figure 9.5	Variation du taux de défaillance du circuit de l'interface de communication en fonction de la température.....	232
Figure 9.6	Variation du taux de défaillance du circuit de l'horloge	

	du convertisseur A/N en fonction de la température.....	233
Figure 9.7	Variation du taux de défaillance du circuit de référence du convertisseur N/A en fonction de la température.....	234
Figure 9.8	Variation du taux de défaillance du convertisseur N/A en fonction de la température.....	235
Figure 9.9	Variation du taux de défaillance du circuit senseur de pression en fonction de la température.....	236
Figure 9.10	Variation du taux de défaillance du circuit capteur de température en fonction de la température.....	237
Figure 9.11	Variation du taux de défaillance du circuit du micro-contrôleur en fonction de la température.....	238
Figure 9.12	Variation du taux de défaillance du circuit du convertisseur A/N en fonction de la température.....	239
Figure 9.13	Variation du taux de défaillance du circuit d'alimentation en fonction de la température.....	240
Figure 9.14	Variation du taux de défaillance du circuit du transducteur de styrène en fonction de la température.....	241
Figure 9.15	Variation du taux de défaillance du circuit du capteur d'humidité en fonction de la température.....	242
Figure 9.16	Variation du taux de défaillance du capteur intelligent des vapeurs de styrène en fonction de la température.....	244
Figure 9.17	Variation du taux de défaillance du capteur intelligent des vapeurs de styrène en fonction du niveau du stress appliqué aux composantes.	245
Figure 10.1	Proposition de montage d'un nouveau prototype.....	262

CHAPITRE I

INTRODUCTION

1.1 Introduction

Depuis quelques années, on assiste à une révolution dans l'introduction des systèmes de contrôle et d'analyse et ce dans presque tous les domaines. Les microprocesseurs et d'une manière générale les composants électroniques programmables à haute intégration sont présents dans la quasi-totalité des domaines d'activités. Différents modules électroniques sont utilisés aujourd'hui pour assister les personnes dans leur travail, contrôler des opérations dans plusieurs procédés et même parfois prendre des décisions rapides et efficaces en cas d'urgence ou de danger.

L'introduction de ces modules électroniques se voit en général dans des environnements où la maîtrise de plusieurs facteurs sont nécessaires pour assurer la sécurité et analyser la situation, ou dans des secteurs où la présence d'un opérateur est menacée par les conditions inadéquates ou qui présentent un réel danger pour l'être humain, voire même dans des cas où le danger n'est pas perceptible par les sens de l'être humain.

Plusieurs systèmes de détection sont développés pour permettre de supporter les opérations, assister à la sécurité des travailleurs et permettre un contrôle continu des environnements hasardeux. Ces systèmes qui veillent continuellement se trouvent dans les industries énergétiques nucléaires, dans l'aviation, dans les industries de transformations chimiques et même à une échelle très réduite dans nos maisons sous forme de détecteurs de fumée. Le niveau d'implication de chaque système et son efficacité dépend toujours du milieu d'opération et du niveau du risque. Bien que des systèmes de détection existent depuis longtemps dans les secteurs à très haut niveau de risque comme les centrales nucléaires ou les industries de transformations des matières dangereuses, on déplore aujourd'hui un manque flagrant dans l'évolution de ces systèmes qui est de loin en retard sur l'évolution technologique rapide des industries de transformations. Bien que nous ayons réalisé un très grand progrès dans la technologie de détection par ultrason, optique, infra rouge, magnétique et au laser, nous sommes encore au stade de développement pour les types de détecteurs des vapeurs organiques et des gaz dangereux.

On trouve aujourd'hui sur le marché de multitudes modules pour détecter un ou plusieurs gaz nocifs pour la santé de l'être humain. Ces détecteurs sont dans la plupart des cas des détecteurs portatifs, qui peuvent indiquer seulement le niveau de concentration de certains gaz, et qui sont activés manuellement à la demande, toutesfois l'interprétation des résultats est laissée au jugement de

l'utilisateur. Un niveau élevé d'efficacité de ces détecteurs est recherché mais peu de systèmes plus complets, plus flexibles et surtout qui offrent une sécurité continue en fonction des changements des variables sont disponibles dans la plupart des cas. Le besoin d'un système de détection des vapeurs organiques est criant dans les industries chimiques ainsi que dans celles où on assiste à un dégagement des gaz lors des procédures de transformations ou de fabrication.

Avec la tendance actuelle et l'emphase sur la santé et la sécurité des employés sur les lieux de travail et avec l'évolution des techniques de transformation qui impliquent de plus en plus l'utilisation des matières dangereuses, un système à haute fiabilité qui offre un contrôle continu sur l'environnement de travail est essentiel. Ces systèmes doivent offrir un échantillonnage précis, permanent, et garantir un seuil minimum de sécurité en tout temps.

Touchant la sécurité des milieux, ces détecteurs devraient faire le sujet d'une étude minutieuse de leurs fiabilité, disponibilité et performance notamment autant au niveau de la qualité de l'information qu'au niveau de la disponibilité des données.

Travailleur sur automate ou un système dédié, concepteur ou utilisateur, programmeur ou analyste, quel que soit le niveau que se trouve la personne, elle

doit se poser, la question de savoir quel est le degré de confiance qu'elle peut accorder à son équipement, quel est le risque réel de pannes dangereuses, ou plus simplement quel est son degré de fiabilité.

1.2 Problématique de la recherche

Le dégagement des gaz toxiques dans les industries présente un problème majeur au point de vue santé et sécurité au travail. Et c'est le cas pour les industries fabriquant des produits en fibre de verre (1,2) ou de synthèse du styrène et de ses polymères, où on assiste à un dégagement de gaz toxique qui contamine l'air ambiant dans l'usine, contribue à la pollution atmosphérique et présente un danger imminent pour la sécurité des travailleurs et surtout en cas de bris du matériel ou de fuite accidentelle.

Plusieurs études antérieures ont montré les résultats néfastes dûs à l'exposition au styrène (3). Dans les industries l'absorption du styrène se fait par respiration sous forme de vapeur et par contact cutané sous forme de liquide. Cette absorption, même à des niveaux se rapprochant de la norme actuelle, peut entraîner chez les employés qui y sont exposés des troubles comme l'encéphalopathie toxique. Ceci mène à des problèmes de motricité, de perte de mémoire, de changements de personnalité et de la difficulté à se concentrer.

Pour éviter et contrôler ce problème, l'utilisation des détecteurs de styrène s'avère nécessaire afin de réagir le plus vite possible et prendre l'action adéquate lors de fuites accidentelles et pour le contrôle de la qualité de l'air à l'intérieur des usines dans le but de fournir un milieu sécuritaire de travail et protéger la santé des employés.

Une multitude de détecteurs de gaz existent aujourd'hui sur le marché (4,5); mais on trouve peu de capteurs intelligents, qui intègrent les circuits de conditionnement, l'électronique de contrôle et de décision, et qui fournissent des signaux en temps réel et des informations sous formes numériques qui peuvent être utilisées pour un objectif donné.

L'équipe de recherche en applications industrielles de l'Université du Québec à Trois-Rivières (ERAIN) a développée un capteur intelligent pour la détection du styrène (6). Ce capteur présente une bonne performance au niveau de détection du styrène, car il prend en considération les variations de l'environnement. Pour cela, il intègre en plus du détecteur de gaz de type semi-conducteur, un détecteur de température, un détecteur de pression et un détecteur d'humidité. Une interface de communication relie les détecteurs à un microcontrôleur, et par la même manière ce dernier à un micro-ordinateur qui assure le contrôle de tout le système (7).

Ce dispositif permet de détecter toute fuite de vapeur de styrène et permet de prendre l'action nécessaire pour minimiser et éliminer l'exposition des travailleurs au gaz toxique.

Ce capteur est un des nouveaux types de détecteurs de vapeur de styrène; pour cela une étude de fiabilité est nécessaire dans le but d'évaluer de plus près l'efficacité, la performance et le rendement du dispositif total.

1.3 Objectif de la recherche

Les objectifs de cette étude se résument ainsi:

- a) L'identification des composantes qui affectent la fiabilité du détecteur
- b) L'évaluation de cette fiabilité et son augmentation
- c) L'augmentation de la fiabilité de l'implantation de ces capteurs dans le milieu industriel à contrôler. La présente étude, va permettre d'améliorer la conception et le design du capteur dans le but d'augmenter sa disponibilité, sa performance et son efficacité.
- d) L'application généralisée des résultats de la recherche dans les industries générant des contaminants chimiques ou biologiques, où il devient impératif d'implanter des éléments de mesures préventives à fiabilité caractérisée et

accrue afin de contrôler l'environnement interne de l'usine, assurer la sécurité des travailleurs et diminuer ou lutter contre la pollution atmosphérique externe.

CHAPITRE II

RAPPEL DES NOTIONS FONDAMENTALES DE LA FIABILITÉ

2.1 Introduction

La défaillance d'un équipement a des conséquences fâcheuses sur les coûts, le temps perdu et souvent même sur la sécurité du personnel sans oublier un facteur important celui de l'effet que les défaillances du matériel provoquent chez les utilisateurs sur l'image de la compagnie et le niveau de confiance.

De plus en plus la fiabilité des produits est un facteur imposé principalement par la concurrence féroce sur le marché et également par le développement de nouveaux produits. Les fabricants ont souvent payé des coûts énormes à cause des défaillances de leurs produits.

La dégradation de la fiabilité des produits est causée d'une part par des raisons liées à la production de masse de produits destinés à être rapidement consommés, d'autre part par l'introduction de nouvelles technologies. L'industrie devait fournir, avec des délais de plus en plus réduits, des produits mettant en oeuvre des techniques nouvelles résultant de découvertes récentes. Ces produits

étant plus complexes et les composantes devenant plus compactes et tendant vers la miniaturisation.

Dans les secteurs aériens, militaires, nucléaires et tout autre domaine qui touche de près la sécurité public, la fiabilité des équipements est le facteur qui a fait toujours l'objet d'un suivi tout le long de la vie du produit et ce dès les étapes préliminaires de conception. Sans doute, l'amélioration de la fiabilité engendre-t-elle généralement des coûts supplémentaires et influence-t-elle directement le coût total du produit; mais c'est en tenant compte du bilan portant sur la durée totale d'utilisation qu'apparaît la justification de l'investissement attaché à l'amélioration de la fiabilité.

La fiabilité est maintenant une variable qui doit être spécifiée, surveillée, analysée et contrôlée tout le long des étapes de développement, car aujourd'hui elle est devenue un des moyens par lesquels une compagnie établit sa réputation et sa survie sur le marché.

2.2 Définition

Si un matériel accomplit la mission à laquelle il est destiné à tout instant auquel on le sollicite, alors, on dit qu'il est fiable. En d'autres termes, la fiabilité est l'aptitude d'un système à rendre le service attendu, dans des conditions données, pour une durée donnée et suivant des critères de fonctionnement définis.

2.3 Relations fondamentales

La fiabilité est un aspect de l'ingénierie de l'incertitude, dans le domaine de l'ingénierie, la définition de la fiabilité est la probabilité qu'un dispositif accomplit sa mission sans défaillance sous des conditions et pendant une période de temps déterminées. Donc il est nécessaire de voir de plus près comment la probabilité de défaillance dépend des variables dites continues comme la durée de temps, la capacité, etc.

2.3.1 Propriétés des variables aléatoires continues

Deux fonctions sont souvent utilisées pour décrire une variable aléatoire continue.

1. La fonction de distribution, **C.D.F** (Cumulative Distribution Fonction)

C'est la probabilité qu'une variable aléatoire x ait une valeur inférieure ou égale à X , et qui est notée par :

$$F(x) = P(x \leq X) \quad (2.1)$$

2. La fonction de la densité de probabilité, **P.D.F** (Probability Density Fonction)

C'est la probabilité que X se trouve entre x et $(x + dx)$, quand dx présente une variation infinitésimale, on a:

$$f(x)dx = P(x \leq X \leq x + dx) \quad (2.2)$$

À noter que $f(x)$ et $F(x)$ sont toujours supérieures ou égales à zéro et inférieures ou égales à 1 pour toute valeur de x . Ces deux fonctions sont reliées entre eux par le simple fait où on pose $-\infty \leq X \leq +\infty$, alors on a:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x') dx' \quad (2.3)$$

ou encore:

$$f(x) = \frac{d}{dx} F(x) \quad (2.4)$$

Donc pour chercher la probabilité que X se trouve dans un intervalle $[a,b]$ on a:

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x) dx \quad (2.5)$$

Dans le cas limite où les bornes sont $\pm\infty$ on a :

$$P(-\infty \leq X \leq +\infty) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1 \quad (2.6)$$

La P.D.F est caractérisée par deux importantes grandeurs :

- La moyenne notée par:

$$\mu = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx \quad (2.7)$$

- La variance notée par:

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu)^2 f(x) dx \quad (2.8)$$

2.3.2 Fiabilité et probabilité

On désigne par $R(t)$ la fiabilité d'un composant qui présente la probabilité qu'il fonctionne sans défaillance pendant un intervalle de temps $[0,t]$. On peut aussi définir la fonction de défaillance $F(t)$ comme étant la probabilité qu'il y ait au moins une défaillance dans l'intervalle de temps $[0,t]$, tel que :

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.9)$$

ou encore:

$$\begin{aligned} R(t) &= 1 - \int_0^t f(t') dt' \\ &= \int_t^{\infty} f(t') dt' \end{aligned} \quad (2.10)$$

De cette dernière équation on peut avoir la P.D.F:

$$f(t) = -\frac{d}{dt} R(t) \quad (2.11)$$

On désigne par $\lambda(t)$ le taux de défaillance instantané d'un composant. Ceci présente la probabilité ramenée à l'unité de temps que le composant tombe en panne entre l'instant t et $(t+dt)$, tout en sachant qu'il fonctionnait correctement à l'instant t . Avec :

$$\lambda(t)dt = \frac{R(t) - R(t+dt)}{R(t)} = -\frac{d}{R(t)} R(t) \quad (2.12)$$

$$\Rightarrow \lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \frac{d}{dt} R(t) \quad (2.13)$$

et en utilisant (11) on trouve:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.14)$$

Généralement les composants sont caractérisés par leur taux de défaillance instantané. Donc il est préférable d'exprimer la fiabilité en fonction de $\lambda(t)$.

Si on intègre l'équation (2.12) entre 0 et t on obtient:

$$\int_0^t \lambda(t') dt' = -\ln [R(t)] \quad (2.15)$$

ou encore:

$$R(t) = \exp \left[-\int_0^t \lambda(t') dt' \right] \quad (2.16)$$

et pour obtenir la P.D.F on remplace l'équation (2.16) dans l'équation (2.14) pour obtenir:

$$f(t) = \lambda(t) \exp \left[-\int_0^t \lambda(t') dt' \right] \quad (2.17)$$

On définit aussi la moyenne de temps de bon fonctionnement, M.T.T.F (Mean Time To Failure) par:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.18)$$

Normalement lorsqu'un système tombe en panne ceci engendre une opération de réparation. Si le dispositif n'est pas réparable, les notions de fiabilité et de défaillance caractérisent bien le dispositif, car la panne met fin à la vie du dispositif. Mais si ce dernier est réparable alors d'autres notions complémentaires entrent en jeu pour caractériser les périodes de bon fonctionnement, de réparation et de disponibilité.

Alors si le dispositif est réparable, la durée de la réparation est variable en fonction de la panne et des ressources mises en oeuvres. Ceci nous amène à définir la fonction $G(t)$ qui est la probabilité que le dispositif ne soit pas réparé dans un intervalle de temps $[0, t]$. D'une façon complémentaire on définit la maintenabilité $M(t)$ comme étant la probabilité que le dispositif soit réparé entre l'instant 0 et l'instant t .

Donc on peut écrire:

$$M(t) = 1 - G(t) \quad (2.19)$$

Par analogie avec la fiabilité, on définit $\mu(t)$ comme étant la probabilité ramenée à l'unité de temps qu'un dispositif sachant qu'il est en panne soit réparé entre l'instant t et $(t+dt)$, alors on a :

$$\mu(t) = \frac{G(t) - G(t + dt)}{G(t)} = \frac{d M(t)}{(1 - M(t))dt} \quad (2.20)$$

ou encore :

$$M(t) = 1 - \exp \left[- \int_0^t \mu(t') dt' \right] \quad (2.21)$$

et le temps de réparation moyen M.T.T.R (Mean Time To Repair) par :

$$MTTR = \int_0^{\infty} G(t) dt = \int_0^{\infty} [1 - \mu(t)] dt \quad (2.22)$$

Ceci nous amène maintenant à parler de la disponibilité D d'un dispositif, qui sous sa forme général est :

$$D = \frac{\sum (\text{temps de bon fonctionnement})}{\text{temps total d'engagement}} \quad (2.23)$$

Alors, on définit $D(t)$ comme étant la disponibilité instantanée d'un dispositif et qui représente la probabilité que le dispositif soit opérationnel à un instant t indépendamment de ses états antérieurs.

Sur un intervalle de temps $[t_1, t_2]$, on définit la disponibilité moyenne $D(t_1, t_2)$ comme étant la moyenne de $D(t)$ qui est égale :

$$D(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} D(t) dt \quad (2.24)$$

La valeur limite de la disponibilité instantanée est la disponibilité stationnaire D qui

est égale :

$$D = \lim_{T \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{T} \int_0^T D(t) dt \right) \quad (2.25)$$

La disponibilité est un facteur important dans les systèmes relativement complexes qui demande un fonctionnement continu et fiable. Car dans les systèmes de contrôle (ex : centrale nucléaire), une haute fiabilité n'est pas suffisante pour assurer la disponibilité du système, mais il est aussi nécessaire d'assurer une réparation rapide et une maintenance planifiée rapide, sans fermer le système si possible.

La disponibilité est aussi affectée par la redondance, cette dernière augmente la disponibilité du système puisque les systèmes de secours assurent le fonctionnement en cas de panne ou de maintenance.

2.3.3 Lois de probabilité et fiabilité

La variation du taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction du temps, suit généralement les caractéristiques d'une courbe en baignoire (Bathtub) comme la montre la figure suivante :

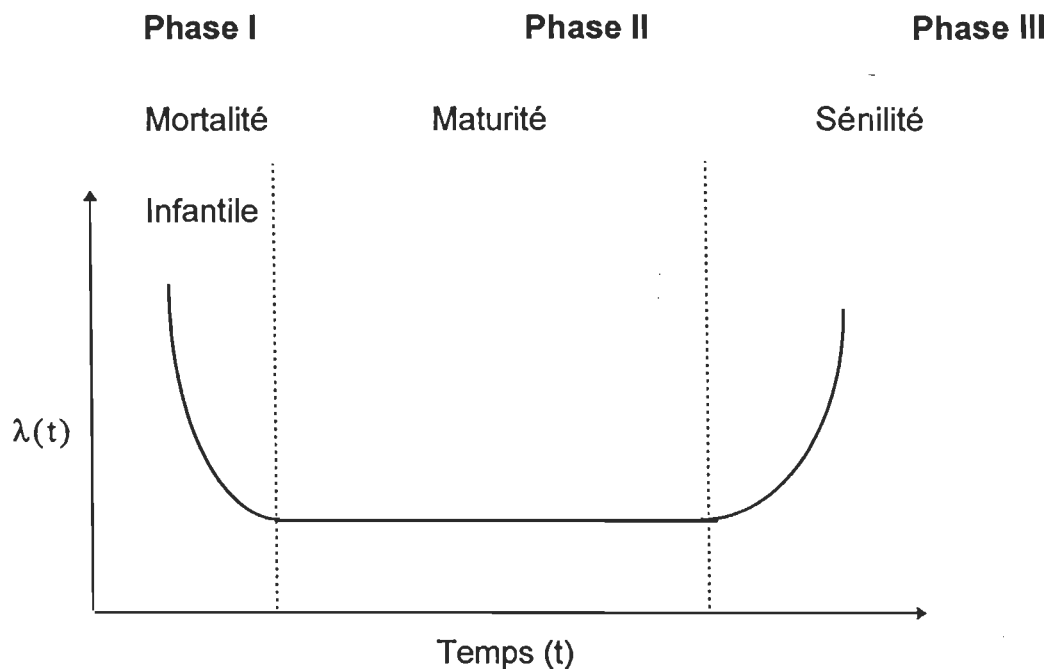


Figure 2.1 Variation du taux de défaillance en fonction du temps.¹

On distingue trois phases distinctes :

- **La phase I :** présente un taux de défaillance anormalement élevé et décroissant. Cette période est souvent appelée la période de mortalité infantile (Infant Mortality) où des défaillances précoces se manifestent au début du fonctionnement du dispositif. Ceci est dû principalement aux défauts de fabrication et de construction des composants. Le taux décroît en fonction de temps puisque les composants défectueux sont retirés du système ou identifiés et réparés.

- **La phase II :** représente la période de maturité. Cette période est généralement longue pour les composants électroniques, et caractérisée par un

¹ Electronic Reliability Design Handbook MIL-HDBK-338-IA, U.S. Department of Defense, 1988

taux de défaillance relativement constant, où la défaillance des composants apparaissent en nombre réduit et aléatoire. La cause de défaillance pendant cette période est reliée aux types d'accidents qui peuvent survenir comme les chocs, les vibrations, les surcharges électriques, etc.

- **La phase III** : représente la période d'usure (Wear-out) ou sénilité. Pendant cette période le taux de défaillance augmente, ceci est dû aux phénomènes de vieillissement, de fatigue ou de corrosion. C'est lors de cette phase qu'on détermine la durée de vie de système et quand les composants doivent être remplacés. Pour les composants électroniques, le taux de défaillance instantané varie en fonction du temps suivant la courbe en baignoire. La phase II ou la période de maturité qui représente la durée de vie des composants est principalement caractérisée par un taux de défaillance instantané presque invariant qui peut être considéré comme constant. De ce fait l'équation de la fiabilité

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t') dt' \right] \quad (2.26)$$

sera simplifiée avec le taux constant pour donner :

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \quad (2.27)$$

avec un P.D.F qui est égale :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.28)$$

Cette fiabilité obéit à une loi exponentielle avec une moyenne de temps de bon fonctionnement :

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.29)$$

Souvent, on suppose que le taux de réparation d'un dispositif est constant et la maintenabilité est exprimée par :

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (2.30)$$

avec un temps moyen de réparation :

$$MTTR = \int_0^{\infty} e^{-\mu t} dt = \frac{1}{\mu} \quad (2.31)$$

L'expression de la disponibilité stationnaire devient :

$$D = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad (2.32)$$

$$= \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

Cependant le (MTTF + MTTR) représente le temps moyen entre pannes et qui est noté MTBF (Mean Time Before Failures).

Cette loi exponentielle n'est qu'un cas particulier de la loi de *Weibull*. En effet la loi de Weibull est la distribution la plus utilisée dans le calcul de la fiabilité,

car elle permet d'obtenir un modèle mieux ajusté aux résultats lorsque le taux de défaillance instantané $\lambda(t)$ n'est plus constant.

Pour la distribution de Weibull, le taux de défaillance à deux paramètres est exprimé comme suit :

$$\lambda(t) = \frac{m}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{m-1} \quad (2.33)$$

Le CDF est :

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^m\right] \quad (2.34)$$

Le PDF est :

$$f(t) = \frac{m}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{m-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^m\right] \quad (2.35)$$

et l'expression de la fiabilité devient :

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^m\right] \quad (2.36)$$

Lorsque $m = 1$ et $\theta = \frac{1}{\lambda}$, on obtient l'expression de la distribution exponentielle avec un taux de défaillance constant. On peut aussi se servir de la loi de Weibull pour modéliser les trois phases de la courbe en baignoire (Bathtub), soit :

- La période de mortalité infantile, **DFR** (Decreasing Failure Rate) avec $m < 1$
- La période de maturité **CFR**, (Constant Failure Rate) avec $m = 1$
- La période de sénilité **IFR**, (Increasing Failure Rate) avec $m > 1$

Il est à noter aussi que la *distribution de Gauss* peut être bien représentative de la troisième phase de la courbe en baignoire, soit la période d'usure. Et l'expression de la fiabilité est :

$$R(t) = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp\left[-\frac{(\tau - m)^2}{2\sigma^2}\right] d\tau \quad (2.37)$$

où

m est la moyenne et σ^2 est la variance avec un temps moyen avant panne MTTF = m .

2.3.4 Fiabilité des composants en série

Des composants sont dits en série (figure 2.3) si la défaillance d'un seul d'entre eux entraîne la défaillance de l'ensemble.

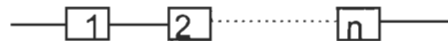


Figure 2.2 Configuration en série

La fiabilité R de l'ensemble est le produit des fiabilités élémentaires R_i de chacun des composants de l'ensemble. La fiabilité du composant i est :

$$R_i = e^{-\lambda_i t} \quad (2.38)$$

et la fiabilité du système serait :

$$R(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = e^{-t \sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (2.39)$$

2.3.5 Fiabilité des composants en parallèle

Des composants sont dits en parallèle (figure 2.3) lorsqu'il faut que tous les composants sont défaillants pour que l'ensemble soit défaillant.

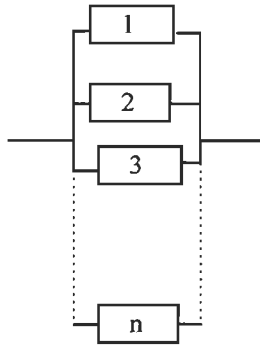


Figure 2.3 Configuration en parallèle

La fiabilité **R** de l'ensemble est:

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (2.40)$$

et :

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t}) \quad (2.41)$$

Si tous les éléments en parallèle ont le même taux de défaillance alors :

$$R(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^n \quad (2.42)$$

avec :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} \quad (2.43)$$

2.3.6 Fiabilité des combinaisons séries et parallèles

Une configuration m / N est un système qui a m fois en parallèle, N éléments en série (figure 2.4)

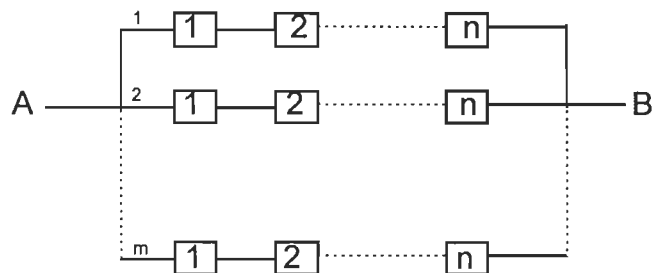


Figure 2.4 Configuration parallèle-série

La fiabilité de l'ensemble est :

$$R = 1 - \prod_{j=1}^m \left(1 - \prod_{i=1}^n R_i \right) \quad (2.44)$$

2.4 Redondance

La redondance est l'existence de plus d'un moyen pour remplir une tâche donnée, le matériel étant conçu de telle sorte que tous les composants doivent

être défaillants pour qu'il ait défaillance de l'ensemble. Il existe deux types de redondance :

- **La redondance active**, c'est le cas où tous les différents composants travaillent simultanément à remplir la tâche, l'un étant capable de subvenir seul au résultat en cas de défaillance des autres.

- **La redondance passive**, c'est le cas où les différents composants travaillent isolément et successivement à remplir la tâche, de telle façon que l'un soit toujours en fonctionnement, les autres étant soit en attente soit en panne. Une telle redondance nécessite un moyen de détection de la défaillance du sous-ensembles en service et un moyen de communication à l'un des sous-ensemble de secours en ordre de marche.

2.5 Panne commune

L'application de la redondance doit être faite avec soins, car ce qu'on peut gagner comme augmentation de fiabilité, peut être atténuée par d'autres modes de pannes. Parmi ceux-ci, on trouve les pannes dites communes causées par le stress de l'environnement comme l'humidité, les vibrations, la variation de la température, etc, ou encore aussi par la maintenance et les connexions électriques. Autrement dit tous les facteurs extérieurs auxquels tous les composants du système sont soumis.

L'une des techniques les plus utilisées pour modéliser ce phénomène, est de diviser le taux de défaillance total du système en deux taux tel que :

$$\lambda = \lambda_I + \lambda_C \quad (2.45)$$

avec

λ_I est le taux de défaillance indépendant et λ_C est le taux de défaillance commun.

Si on désigne

$$\beta = \frac{\lambda_C}{\lambda_I} \quad (2.46)$$

alors pour les composants en parallèle de la figure 2.3.1 on a :

$$R(t) = (2e^{-\lambda_I t} - e^{-2\lambda_I t})e^{-\lambda_C t} \quad (2.47)$$

ou encore :

$$R(t) = (2 - e^{-(1-\beta)\lambda_I t})e^{-\lambda_I t} \quad (2.48)$$

Appliquée pour un système de N composants identiques on a :

$$R(t) = (1 - (1 - e^{-\lambda_I t})^N)e^{-\lambda_C t} \quad (2.49)$$

Cette méthode peut être appliquée aux composants en série. Pour deux composantes en série avec un taux de défaillance λ_I identiques, tel que :

$$\lambda_I = \lambda_I + \lambda_C \quad (2.50)$$

La fiabilité est :

$$R(t) = e^{-2\lambda_I t} e^{-\lambda_C t} \quad (2.51)$$

ou encore :

$$R(t) = e^{-\lambda_I t} \quad (2.52)$$

avec

$$\lambda = 2\lambda_1 + \lambda_c \quad (2.53)$$

Si on définit :

$$\beta = \frac{\lambda_c}{\lambda_1} \quad (2.54)$$

Alors, on peut écrire :

$$\lambda = (2 - \beta)\lambda_1 \quad (2.55)$$

On remarque de cette dernière équation que par la considération du taux de défaillance commun, le taux de défaillance du système diminue. Ceci n'a pas en général une grande influence si $\beta \ll 1$, c'est pour cette raison que dans les système en série la panne commune est négligée.

2.6 Panne-sécurité et panne-danger

Les pannes d'un système n'ont pas toujours le même impact, ceci est plus important dans le cas des systèmes qui assurent la sécurité en général et pour les systèmes d'alarme en particulier. On distingue deux types de pannes d'un système d'alarme, panne-sécurité et panne-danger.

Panne-sécurité (Fail-Safe) : C'est lorsque le système donne une alarme, alors qu'aucun danger n'est présent.

Panne-danger (Fail-to-Danger) : C'est lorsque le système ne donne aucun alarme lorsque le danger est présent.

Généralement, la probabilité de panne-danger doit être plus faible que celle de panne-sécurité, même si cette dernière est aussi importante, car dans le cas où il y a beaucoup de fausse alarme, celles-ci vont être ignorées même dans le cas d'un réel danger. Pour cela il faut prendre les moyens nécessaires pour déterminer la probabilité de panne-danger et par conséquence contrôler celle de panne-sécurité, car la plupart des altérations amenées pour minimiser la panne-danger induit souvent une augmentation de la probabilité de panne-sécurité.

La redondance est l'un des moyens de réduire la probabilité de panne-danger, dans ce cas plus la redondance est importante, plus la panne-sécurité est susceptible de se produire.

Dans les systèmes électroniques et particulièrement ceux de la protection et de la sécurité, la configuration m / N est souvent utilisée. Pour ces systèmes, la défaillance de panne-danger \bar{R}_d est:

$$\bar{R}_d = \sum_{n=N-m+1}^N C_n^N P_d^n (1 - P_d)^{N-n} \quad (2.56)$$

et avec l'approximation de l'événement rare, $P_d \ll 1$, on a :

$$\overline{R}_d \approx C_{N-m+1}^N P_d^{N-m+1} \quad (2.57)$$

avec :

P_d : probabilité de défaillance panne-danger

D'un autre côté, il faut qu'au moins m signaux soient générés pour amener le système dans l'état panne-sécurité. Si on assume des pannes indépendantes alors, la probabilité de défaillance panne-sécurité \overline{R}_s est :

$$\overline{R}_s = \sum_{n=m}^N C_n^N P_s^n (1 - P_s)^{N-n} \quad (2.58)$$

et avec l'approximation de l'événement rare, $P_s \ll 1$, on a :

$$\overline{R}_s \approx C_m^N P_s^m \quad (2.59)$$

Si on regarde l'équation (2.57), on remarque que pour diminuer la défaillance panne-danger on doit augmenter $(N-m)$. Et similairement pour l'équation (2.59), si on veut diminuer la défaillance panne-sécurité on doit augmenter m . Cependant, il faut être conscient qu'une augmentation non contrôlée de N peut limiter l'amélioration ajoutée au système dû au principe de la panne-commune.

2.7 Demande répétée

On désigne la fiabilité R_n comme étant la probabilité que le système soit opérationnel après n demandes. Si cette probabilité est indépendante du nombre de demandes antérieures alors :

$$R_n = (1-p)^n \quad (2.60)$$

où p est la probabilité de défaillance. Si on suppose que $p \ll 1$ et que la demande est indépendante alors on peut écrire :

$$R_n = e^{-np} \quad (2.61)$$

La probabilité que le système tombe en panne lorsque la demande est indépendante de son histoire. Si on a m demande par unité de temps, alors le nombre de demandes au temps t est :

$$n = m t \quad (2.62)$$

Alors, on peut écrire l'équation (61) :

$$R(t) = e^{-mpt} \quad (2.63)$$

2.8 Fiabilité et conception

La fiabilité d'un produit est fortement influencée par les décisions prises au moment de la conception. Les déficiences de la conception affectent toutes les composantes et toute correction implique un coût excessivement élevé après la mise en production. Car ce n'est ni économique ni pratique de changer la conception une fois la production est lancée. Pour cela, l'utilisation des procédures

de fiabilité lors du design minimise la possibilité des pannes et permet de détecter les déficiences le plus tôt possible dans le processus de la conception. L'élimination des déficiences passe par un facteur de sécurité adéquat, une protection contre les surcharges et des protections contre la dégradation de la capacité du système. La conception doit tenir compte aussi de tous les facteurs qui peuvent affecter la fiabilité comme les méthodes de production et la maintenance.

CHAPITRE III

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Le nombre croissant d'étude portant sur les capteurs en général traduisent bien l'importance accordée à ce champ d'activité. Les progrès technologiques actuels permettront la création d'une nouvelle génération de capteurs à la fois moins coûteux, plus fiable, plus efficace et capable de mener une grande variété de nouvelles tâches (8). La fiabilité de ces capteurs est une des importantes caractéristiques qui devraient être optimisées dès l'étape de conception.

3.1 Histoire et évolution des senseurs de gaz

La demande pour les senseurs de gaz a augmenté rapidement dans les dernières années. L'expansion de certain segment de marché, a ajoutée une importance sur la santé et sécurité du travail, ainsi qu'un nouveau regard sur les normes d'émissions concernant l'environnement, ce qui explique les demandes croissantes des détecteurs de gaz. Similairement, pour le marché de consommation, le danger causé par les gaz naturels et le mono-oxyde de carbone a permis l'introduction et l'installation de certain détecteur de gaz et système d'alarme même dans toutes les maisons. Encore plus, les avances technologiques

et l'utilisation des microprocesseurs ont largement aidé à une expansion rapide pour les applications de sécurité.

Cependant, l'évolution des senseurs de gaz était moins rapide que celle des microprocesseurs. Les senseurs de gaz ont une structure de détection complexe et c'est seulement récent que certains types offrent une meilleure fiabilité.

Basé sur quatre principes de détection physico-chimique, physique, électrochimique et optique, une grande variété de technologie de détection et de configuration a été développée. Les techniques de détection les plus populaires (figure 3.1) sont les suivantes :

- **Senseur catalytique** : Basé sur la combustion catalytique, ces senseurs peuvent détecter une grande variété de gaz combustible, comme le méthane, l'acétylène et l'hydrogène. Parce qu'ils utilisent la chaleur de combustion du gaz pour déterminer la concentration, ils présentent une faiblesse dans la détection des concentrations très élevées et ils nécessitent la présence de l'oxygène. En plus ces senseurs ne sont pas construits pour être spécifiques, mais ils sont très efficaces pour la détermination de la présence des gaz combustibles entre 0 et 100% LEL (Lower Explosive Limit).

CAPTEURS CHIMIQUES

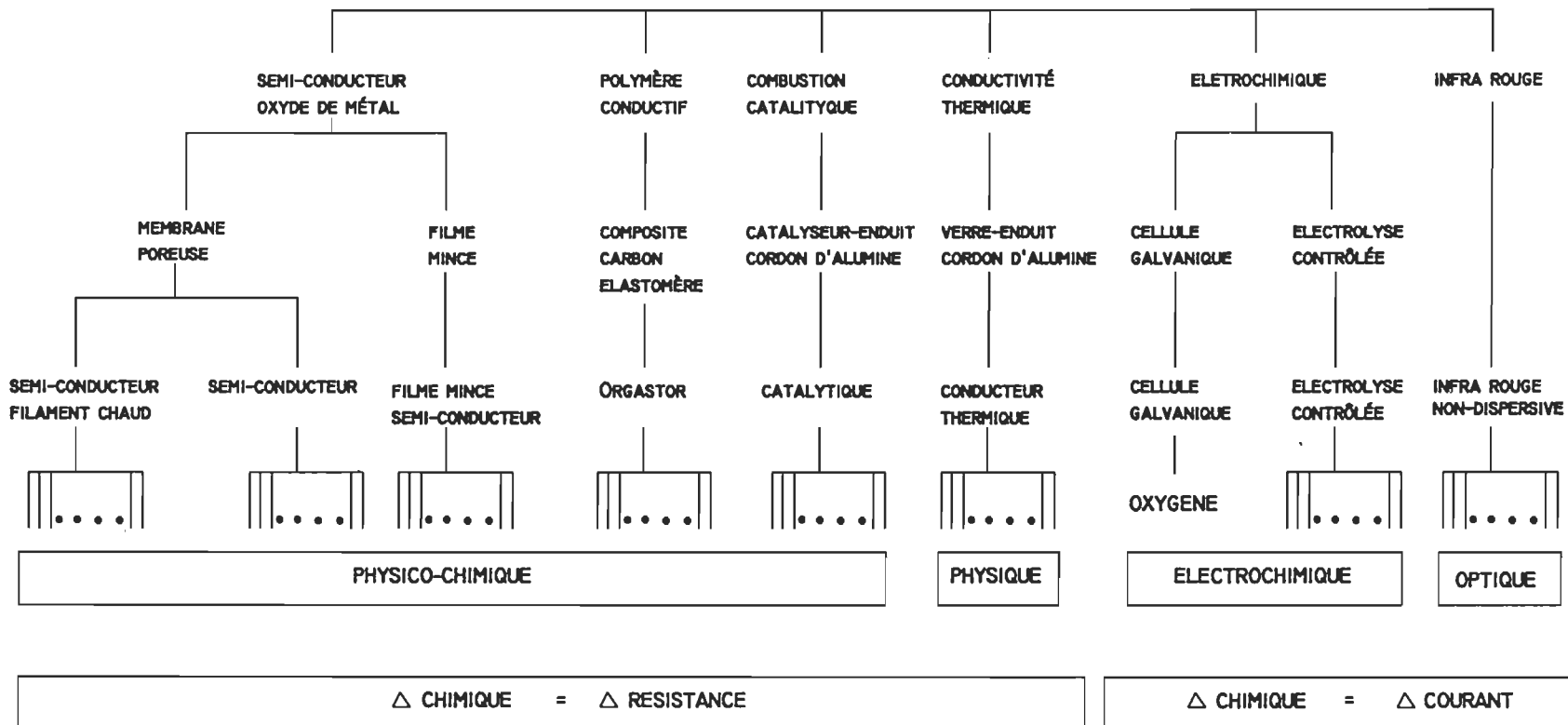


Figure 3.1 Type de senseur et principe de détection ¹

- **Senseur à polymère conducteur** : la technologie basée sur la conductivité des polymères permet la détection des huiles et les autres molécules organiques par le changement de la résistance suite à sur l'expansion de la résistance composite carbone/polymère. Ce qui donne à cette technique une bonne utilisation, c'est que la détection est possible dans l'air et dans l'eau.

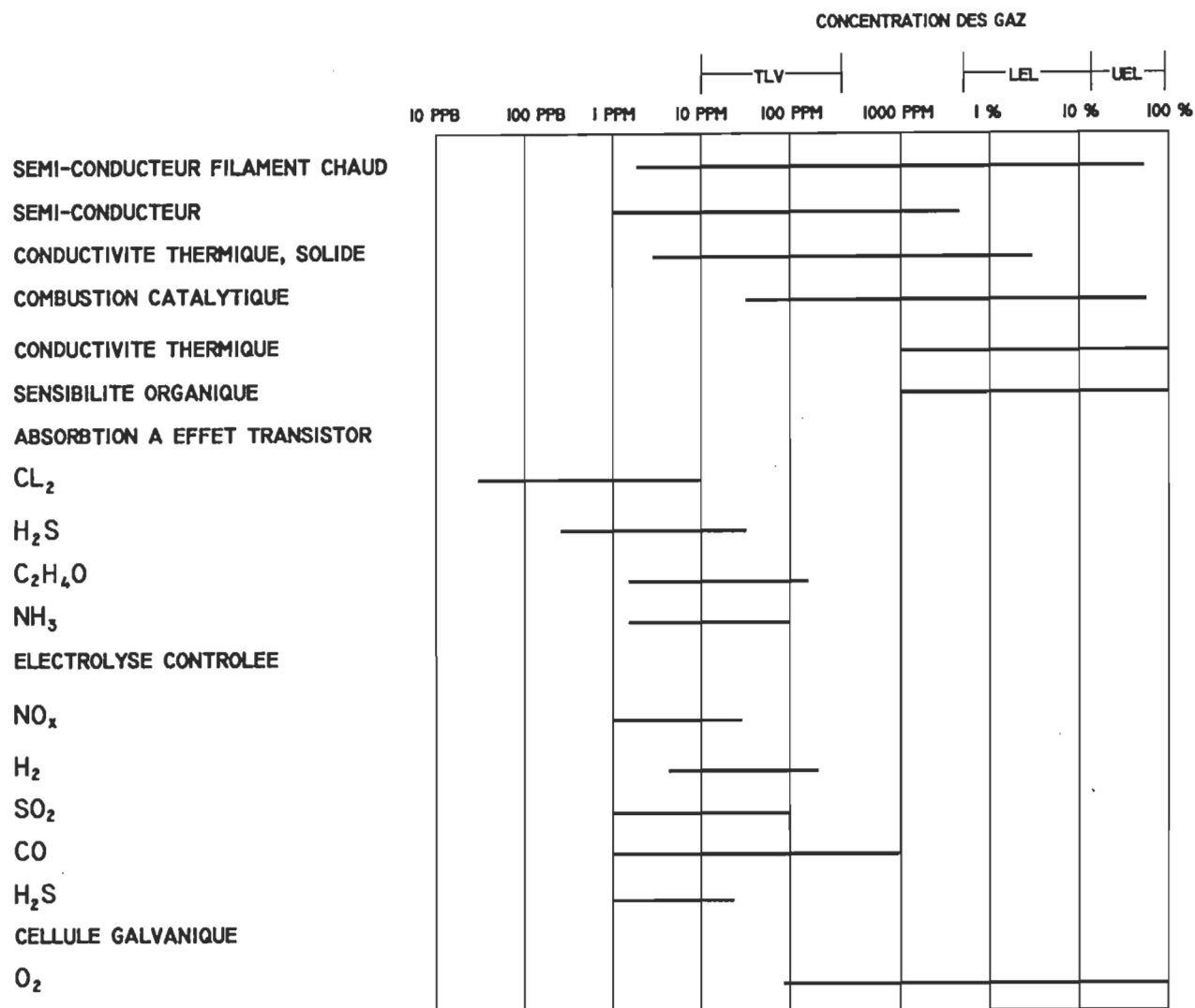
- **Senseur électrochimique** : les senseurs électrochimiques détectent des gaz spécifiques et ils sont largement utilisés pour les gaz comme le CO, B₂H₆, HCl, AsH₃, HCN, CL₂, NF₃ et le PH₃, et ils sont extrêmement sensibles. Les cellules galvaniques et une autre des senseurs électrochimiques mesurent le courant généré de la réaction quand l'oxygène réagit dans une cellule électrolytique. Ce type de senseur est généralement utilisé pour la détection de la concentration de l'oxygène.

- **Senseur infrarouge** : Dans ce type de détection, le faisceau infrarouge passe à travers le gaz dans la cellule de mesure et comparé à un second faisceau dans une cellule étalon. Dans la cellule de mesure, le gaz absorbe le faisceau lumineux, et crée un différentiel de signal proportionnel à la concentration de gaz. La longueur d'onde absorbée est différente d'un gaz à un autre, la calibration peut être effectuée pour un gaz spécifique. Typiquement, les senseurs à infrarouge sont utilisés pour la détection des gaz comme le CO, CO₂, les gaz réfrigérant (CFC_s, HCFC_s), NO₂ et les gaz combustibles.

- **Senseur semi-conducteurs** : généralement construit autour d'un métal oxyde semi-conducteur, ces senseurs se basent sur la variation de la résistance électrique due à la sensibilité chimique d'un film métallique qui est proportionnelle à la concentration des gaz. Ce type de senseur peut être utilisé pour les gaz comme l'hydrogène ou le méthane ou encore calibré pour une grande variété des gaz combustibles ou des solvants industriels. Dans certaine application, des membranes sont utilisées pour améliorer la sélectivité du senseur. Ce principe de détection donne une large variation à des concentrations très faibles, il a une très bonne durée de vie (jusqu'à 10 ans), une excellente stabilité à long terme, une bonne résistance à la contamination et une bonne répétabilité.

- **Senseur à conductivité thermique** : Ce type de senseur est basé sur le principe de la variation de la résistance, causé par la baisse de la température d'un fil en platine chauffé et exposé à un certain gaz. Cette application est utilisée pour les gaz comme, le Ar, He, Ne, CO₂, H₂ et les hydrocarbures combustibles.

Plus qu'un type de senseur peut être utilisé pour la détection d'un certain gaz, mais chacun a ses limites et son niveau de précision. La figure 3.2 montrent le type de senseur et la plage de détection spécifique à chacun.



TLV : THRESHOLD LIMIT VALUE
 LEL : LOWER EXPLOSIVE VALUE
 UEL : UPPER EXPLOSIVE LIMIT

Figure 3.2 Plage de détection des senseurs de gaz²

3.2 Fiabilité des systèmes

Shambhu J. Upadhyaya, Hoang Phan et Kewal k. Saluja (9), décrivent dans leur article une nouvelle approche pour augmenter la fiabilité d'un système par la redondance en sous-modules. En utilisant la technique de redondance conventionnelle, on place souvent des modules en parallèle qui reçoivent une même entrée; dans ce cas, on augmente la fiabilité par une réplique verticale. Dans leur nouvelle approche les auteurs ont étudié la possibilité d'augmenter la fiabilité par une division horizontale des modules. Chaque module est divisé en sous-modules et la redondance est appliquée localement à ces sous-modules. Généralement, la division horizontale des modules engendre la formation d'un système en série, et la fiabilité décroît au lieu d'augmenter; mais ce n'est pas toujours le cas, car, dans la pratique, la répartition en sous-module conduit à une faible probabilité de défaillance du module.

Si un module peut être divisé en sous-modules, ceci se fait d'une façon continue tant que la division est possible. Une fois que les sous-modules ont été identifiés on dédouble ces sous-modules en duplex, et on ajoute un « voter » qui joue les rôles d'un comparateur avec une fiabilité R_c et d'un isolateur de défaut de fiabilité R_s . L'exemple présenté par les auteurs d'un système à 2 modules divisés en sous-modules, a donné une augmentation de la fiabilité du module de 11 %.

Cette division horizontale est appliquée aussi à un système de m modules avec une probabilité de défaillance différente. L'équation générale de la fiabilité du système est :

$$R_{SM,2} = \prod_{i=1}^m [R_i^2 - 2CR_i(1 - R_i)] R_{Si} R_{Ci} \quad (3.1)$$

avec :

R_i : Fiabilité du sous-module

R_S : Fiabilité d'isolateur de défaut

R_C : Fiabilité du comparateur

C : « coverage factor », c'est la probabilité d'isoler correctement le module en panne en supposant qu'une panne existe dans le système.

Dans le cas d'un système m/N , on a :

$$R_{SM,N} = \prod_{j=1}^m \left[R_{vj} \sum_{i=0}^k \binom{m}{i} R_j^{N-1} (1 - R_j)^i \right] \quad (3.2)$$

avec $k = \frac{N-1}{2}$, et R_{vj} est la fiabilité du « voter » à la sortie des sous module j .

Un autre problème qui reste à résoudre est celui de la répartition optimale. Les auteurs ont présenté une analyse simplifiée pour un système en duplex. Cependant ce concept ne tient pas compte d'autres facteurs importants qui

influencent directement la détermination de la grandeur du module, notamment le délai de communication.

Tilak C. Sharma et Igor Bazovsky Sr (10) montrent une technique efficace à utiliser pour prédire la fiabilité des systèmes relativement large par l'utilisation des chaînes de Markov. La complexité des systèmes s'accroît chaque jour avec l'introduction de nouvelles technologies, spécialement dans le domaine de l'industrie et de défense où des systèmes tolérant des défaillances (Fault Tolerant system) doivent avoir une bonne fiabilité. La panne complète de ces systèmes est très rare, sinon impossible, grâce au contrôle continu des conditions et à la reconfiguration instantanée pour un mode alterné de fonctionnement ou une réparation rapide de la défaillance partielle.

Étant donné ces états du système, le concept de la fiabilité traditionnelle a besoin de quelques ajustements, car souvent les paramètres de la fiabilité peuvent ne pas être basés sur le temps mais plutôt sur des paramètres variables des sous-systèmes et des différentes conditions comme la configuration ou la politique d'ordonnancement de la maintenance.

Dans ces conditions, les modèles de fiabilité classiques série/parallèle, ne sont pas appropriés pour décrire ces systèmes, mais l'évaluation de la fiabilité

peut être réalisée plus fidèlement par l'application des techniques de Markov.

Généralement, il existe trois approches pour prédire la fiabilité de ces systèmes :

** Modèle combinatoire (Arbre de défaillance et diagramme-bloc de la fiabilité)*

Largement utilisé, mais il présente quelques limitations :

- Il est très difficile de permettre des dépendances variées;
- La nature de l'approche impose que tous les événements combinatoires pour la période de temps t doivent être inclus, d'où un modèle très compliqué;
- La construction d'arbre de défaillance pour chaque condition de défaillance.

** Technique de simulation (Monte-Carlo)*

Cette méthode est utilisée pour calculer la fiabilité d'un système par la simulation de défaillance des composants suivant leur taux de défaillance. L'inconvénient de cette approche, c'est pour avoir un système fiable, il faut faire un grand nombre de simulation pour obtenir des résultats statistiquement concluants. Cependant si un petit changement surgit, alors la simulation doit être reprise de nouveau.

** Markov et semi-Markov*

Dans cette approche les limites des deux autres sont contournées, car toutes les séquences des événements sont incluses naturellement et elles peuvent décrire plusieurs états du système. Il est à noter que le modèle peut s'élargir de 2^n en

fonction des nombres de composants, cependant l'utilisation des programmes de résolution des chaînes de Markov est indispensable.

L'analyse par les chaînes de Markov s'avère intéressante et plus descriptive que les deux autres techniques. Par contre le modèle s'élargit et croît d'une façon très rapide et demande l'utilisation d'un des programmes spéciaux pour la résolution des chaînes de Markov.

Dans son étude *R. W. Sears, Jr* (11), propose une méthodologie pour déterminer le niveau de redondance dans un système. Cette méthodologie se résume dans les étapes suivantes :

- Développement d'un diagramme-bloc de la fiabilité qui permet d'inclure le nombre des différents niveaux d'attente, et l'efficacité des méthodes d'activation;
- Génération d'une méthode de calcul pour évaluer le modèle;
- Développement d'un programme pour faire les calculs;
- Génération d'un tableau de la conception paramétrique pour éviter les calculs;
- Vérification des modèles par simulation.

Deux paramètres importants ont été à la base de l'évaluation de la fiabilité en terme de nombres de composants en attente. Le premier paramètre noté « K », mesure l'efficacité de la stratégie de redondance et le paramètre « C » mesure

l'efficacité de garder le système en attente non opérationnelle. L'auteur a présenté un exemple numérique qui illustre bien les différentes étapes de sa méthodologie.

La méthode présentée est laborieuse et son application nécessite l'utilisation et la conception de différents programmes de calcul et de simulation pour arriver à estimer le niveau de redondance en attente.

John S. Usher (12) définit une nouvelle approche pour estimer la fiabilité des composants à travers l'analyse des données de survie du système. Dans son ouvrage, le système présente un ensemble de différentes sortes de pièces électroniques appelées « Circuit-Pack ». L'objectif de cette étude est d'analyser le champ de défaillance de ces « Circuit-Pack » et estimer la fiabilité des composants. Mais un problème surgit et rend cette estimation un peu plus difficile à produire, car dans certain cas le composant responsable de la défaillance ne peut être identifié et la défaillance est alors attribuée à un ou plusieurs sous-ensembles de composants. L'auteur présume que la vie des composants est distribuée selon la loi de Weibull et a présenté une méthode pour déterminer les paramètres de distribution.

Le processus décrit est long et demande un large nombre de données et de calcul, mais le grand avantage est que les estimations obtenues reflètent la fiabilité réelle des composants, c'est-à-dire après leur assemblage dans un

système opérationnel. En même temps, ce processus considère aussi les dégradations induites par l'assemblage et le montage, donc ces estimations devront être les meilleures pour prédire le comportement de ces composants dans une nouvelle conception.

Abhijit Dasgupta, Donald Baker, et Micheal Petcht (13) évoquent le problème de la prédiction de la fiabilité des composants électroniques, ils pensent que la supposition d'un taux de défaillance constant n'est pas représentative de la réalité du système. En effet seulement quelques composants présentent une défaillance aléatoire et la majorité des défaillances dans les systèmes électroniques sont dus à des problèmes mécaniques comme la fatigue, les fissures, et la corrosion. Donc ces défaillances sont dues à un phénomène d'usure plutôt qu'à un phénomène statistique aléatoire; par conséquent la fiabilité ne peut être caractérisée par un taux de défaillance constant pendant aucune des périodes de vie du système.

De plus la vie individuelle d'un composant constituant un système électronique, peut varier significativement d'un composant à un autre, à cause de la variabilité dans la conception, la microstructure, les paramètres de fabrication, le contrôle de la qualité, l'assemblage, les conditions de l'environnement.

Pour cela la prédiction de la fiabilité a besoin non seulement d'un modèle mécanique pour déterminer le temps moyen de défaillance, mais aussi de la

variabilité statistique de tous les paramètres qui affectent la fiabilité. Le but fondamental du modèle mécanique est de fournir des relations fonctionnelles entre la vie moyenne en fatigue et les charges opérationnelles. Ces modèles varient avec le type des matériaux, de charge et les facteurs environnementaux, et leur fidélité dépend directement de la précision des paramètres du matériau et des propriétés de la fatigue introduites dans le modèle.

Le point traité par les auteurs est important et il me semble que pour compléter une étude de fiabilité crédible il faut qu'elle soit appuyée par des tests expérimentaux qui prennent en considérations les composants constituant le système et les variables réelles qui affectent leur comportement.

P. Charpentier (14) met le point sur les règles et les méthodes de la construction d'un dispositif à microprocesseur sûr de fonctionnement. Dans un système pareil, les défaillances se répartissent en deux catégories :

- Défaillances systématiques :

- * Fautes de spécifications lors de l'élaboration du cahier de charges
- * Fautes introduites lors de la conception

- Défaillances aléatoires :

- * Défaillances des composants

- * Agression de l'environnement

- * Fautes d'exploitation

Pour assurer la sécurité de fonctionnement d'un dispositif il faut appliquer les techniques pour renforcer le niveau de sûreté pour cela deux sortes de techniques font surfaces :

- *Les techniques d'évitement des fautes*: destinées à minimiser l'apparition des fautes au sein d'un dispositif à microprocesseur. Ces techniques sont applicables pour chacune des étapes de vie d'un dispositif, de sa spécification, à sa maintenance en passant par sa conception et sa mise en oeuvre. Cette technique engendre plusieurs variables notamment le langage de programmation, la mémorisation du programme et le bus du microprocesseur. Il s'agit en fait d'un ensemble de règles d'utilisation et d'implantation pour éviter les aléas de fonctionnement et pour éviter les perturbations.

- *Techniques de contrôle des fautes* : elles s'appliquent lors de la conception, et sont destinées à rendre le fonctionnement sûr. Ceci consiste tout d'abord à détecter l'apparition des erreurs puis à gérer le comportement du dispositif pour lui faire adopter une position de repli, c'est-à-dire de continuer à fonctionner en présence d'une ou plusieurs fautes. C'est alors que le dispositif est appelé tolérant de fautes.

Le but de l'utilisation de ces techniques est de trouver un compromis entre la simplicité de mise en oeuvre et la fiabilité.

Il est nécessaire de valider la fiabilité d'un produit final ainsi développé. Une des solutions est la simulation physique des fautes basant sur l'injection d'erreurs affectant le fonctionnement du dispositif. Il est important de surveiller de près ces règles afin de minimiser toute erreur et par conséquent de conserver la fiabilité du dispositif même dans le cas d'apparition de défaillances.

L'approche de la conception proposé par *Micheal G. Pecht* (15) se résume à une méthodologie pour la conception des équipements électroniques. Cette philosophie prend en considération le fait que les systèmes électroniques doivent être conçus d'une manière qui permet une rigoureuse analyse pour rencontrer les conditions de fiabilité. L'approche proposée comporte huit étapes :

1. *La définition de la mission* : cette étape inclut le profil de la mission, la performance, le coût et d'autres variables. C'est une sorte de cahier de charges.

2. *La définition de l'environnement d'utilisation* : elle peut inclure la charge, les conditions d'entreposage, la radiation électrique ou thermique. L'utilisation du terme environnement standard doit être bien spécifiée par des données définies

pour les variables clés comme la plage de température, l'humidité, la vibration, ou la tension.

3. *Identification des zones et types de défaillance* : le mode de défaillance, la localisation et l'interaction avec le stress extérieur doivent être identifiés dès le début de la conception. Les techniques d'analyse comme le FMECA (Failure Mode Effect and Criticality Ananlysis) et celle d'Ishikawa peuvent être utilisées pour réduire et éliminer les défaillances. Les autres étapes sont en relation directe avec la fabrication, le contrôle et les caractéristiques des matériaux utilisés.

L'utilisation d'une méthode structurée pour le design d'un produit fournit un niveau de confiance considérable et permet de cerner les conditions d'utilisation pour mieux identifier les paramètres et variables influant sur le système.

3.3 Fiabilité des systèmes de détection

Pour avoir une fiabilité optimale *William M. Goble, et Ted W. Tucher* (16) ont évoqué que la fiabilité est l'une des plus importantes caractéristiques qui doit être optimisée pendant l'étape de la conception et d'application des systèmes de contrôle industriel. Ils recommandent que les systèmes soient conçus de telle façon que les composantes opèrent dans les limites spécifiques, et hors de ces

limites on assiste à des défaillances provoquées par les agresseurs extérieurs qui excèdent la susceptibilité des composants du système comme la montre la figure suivante:

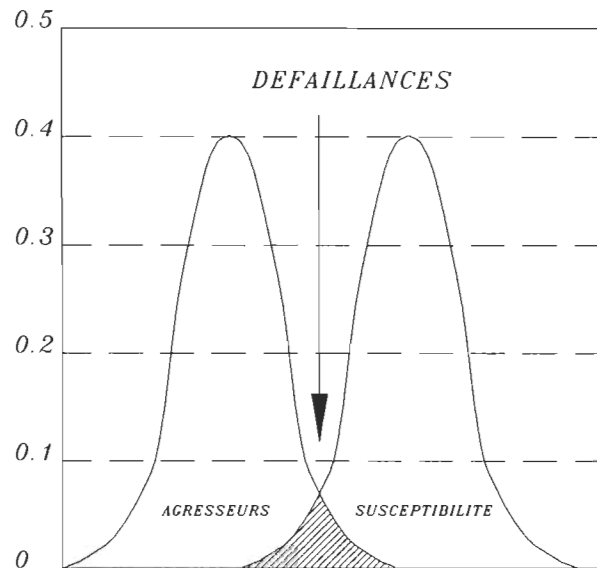


Figure 3.3 Limites d'un système et zone de défaillance

Les spécifications de la conception doivent inclure les limites de susceptibilité incluant le facteur de sécurité. Les facteurs d'agression identifiés permettent de minimiser la susceptibilité du système. L'environnement industriel comporte plusieurs agresseurs physiques comme la chaleur, les produits chimiques, l'humidité, les vibrations, les chocs, et des agresseurs d'opération dont les commandes incorrectes, la maintenance mal programmée et le mauvais calibrage.

Il est important d'identifier tous ces agresseurs afin de réduire la sensibilité des composantes, car pour augmenter la fiabilité il faut connaître les facteurs qui peuvent causer les défaillances afin de prendre les moyens nécessaires et employer les techniques requises pour une fiabilité accrue.

T. E. Bullock, S. Sangsuk-iam, R. Pietsch, et E. J. Boudreau (18) montrent que l'utilisation de plusieurs détecteurs de différents types augmente la performance et la fiabilité d'un système. Une défaillance peut être due à une perte d'information ou à une panne du détecteur pour une raison quelconque. L'utilisation et la fusion de multiples détecteurs permettent de combiner l'information reçue et de produire un bon estimé de l'état de système, et ceci avec l'avantage que certaines conditions peuvent affecter quelques détecteurs par contre d'autres y seront insensibles. Les auteurs suggèrent de prévoir pour chaque senseur un moyen pour estimer son état local, d'analyser, détecter et d'isoler toutes défaillances. Une amélioration est ajoutée par l'utilisation de la redondance, ceci consiste à l'implantation de différent type de senseurs qui ont une sensibilité différente aux agresseurs environnementaux.

Cette technique présente plusieurs avantages, la combinaison de différentes sortes d'information et la fusion permettent de donner un estimé plus exact des conditions, une bonne qualité de données, ce qui augmente la fiabilité du système malgré la variabilité des conditions environnementales.

On peut assurer encore plus la fiabilité d'un tel dispositif par l'utilisation d'une fonction d'auto-diagnostic qui permettra d'identifier, d'analyser et d'isoler toutes les anomalies de fonctionnement d'un senseur, ce qui assurera une continuité de performance même en présence de panne.

I.P Popchev et S. G. Savov (19) affirment que le moyen efficace d'avoir un système fiable et de concevoir le système de telle façon qu'il puisse tolérer des fautes FTS (Fault tolerant system). Il y a quatre moyens possibles :

- Evitement des fautes (Fault avoidance);
- Tolérance des fautes (Fault tolerance);
- Enlèvement des fautes (Fault removal);
- Prévion des fautes (Fault forecasting).

Les deux premiers moyens sont reconnus comme des techniques efficaces pour donner un système capable d'assurer le service attendu avec une grande fiabilité. Comme dans plusieurs cas la redondance est le seul moyen de base qui alloue la croissance de la fiabilité.

Plusieurs autres chercheurs adaptent la philosophie de FTS et partagent l'idée de la redondance comme le moyen pour la réaliser. Mais le problème qui se

pose actuellement est celui de la gestion de la redondance, c'est-à-dire la reconnaissance de défaillance, la localisation, l'isolement du composant défectueux et la reconfiguration du système. On peut dire que le niveau de l'efficacité d'un système dépendra directement de la performance de sa gestion.

3.4 Fiabilité des détecteurs des gaz organiques

Zellers, E. T., N. Hosslo, R. M. White et S. M. Rappaport (17) ont développé un nouveau détecteur de styrène qui offre une bonne sélectivité par l'intermédiaire d'un système SAW (Surface Acoustic-Wave). Ce système offre une bonne sélectivité et présente un grand avancement dans la résolution du problème de sélectivité des détecteurs de styrène. Les travaux exécutés incluaient la vérification de la sélectivité du détecteur et l'interférence de quelques gaz. Les auteurs pensent qu'une étude plus avancée comprenant une gamme de gaz plus étendue est nécessaire pour identifier les gaz d'interférences. Mais le problème majeur rencontré est celui de l'humidité. La variation de 5 à 80% de l'humidité atmosphérique, a pratiquement doublé la réponse de concentration de styrène. Dans la pratique, ils suggèrent d'utiliser un moyen pour éliminer l'humidité, comme le cas des détecteurs à photo-ionisation, pour que le détecteur soit opérationnel.

Ce nouveau prototype n'est pas mis au point, car d'autres problèmes d'opération nécessitent une investigation ultérieure pour résoudre le problème du temps d'opération du détecteur qui est à ce stade fortement liée à la dégradation de l'enduit qui est la base du principe de la détection. Aucune notion de la fiabilité n'a été invoquée puisque le principe n'est pas encore maîtrisé.

D'autres études pour les détecteurs de vapeur de styrène (20,21,22), ont été réalisées dans le but d'augmenter la performance de détection, de sélectivité et de temps de réponse. L'aspect fiabilité était toujours discuté sommairement sans qu'on y mette réellement de l'emphase. Pourtant, cet aspect est loin d'être négligeable surtout en ce qui concerne les dispositifs qui constituent des moyens de contrôle, de sécurité et qui constituent constamment une assurance pour la santé et la sécurité des travailleurs.

3.5 Fiabilité des programmes

Il y a un conflit persistant dans les différents points de vue sur le sens de la fiabilité d'un programme et comment elle devrait être quantifiée (24).

D'une part la fiabilité d'un programme est vue par certains comme (surtout pour les informaticiens puristes) devait être intimement liée à l'exactitude et la

justesse du programme. Ils considèrent qu'un programme incorrect, contenant encore des erreurs, va tôt ou tard être à la source d'une défaillance, donc sa fiabilité est considérée comme égale à zéro. Une fois que les programmes sont corrigés de toute erreur alors sa fiabilité est considérée comme égale à 1.

D'autre part, la fiabilité d'un programme, vue par la plupart des ingénieurs et statisticiens, est profondément liée au concept de la probabilité de la fiabilité. Ce groupe se base sur le fait que dans le monde réel, des programmes contenant des erreurs sont utilisés jour après jour sans l'apparition d'une défaillance. Ils pensent que la fiabilité d'un programme devrait être établie comme étant la probabilité qu'un programme opère sans défaillance pour une période de temps donnée. Si on adopte la définition des informaticiens puristes, alors presque tous les programmes réalisés jusqu'à aujourd'hui ont une fiabilité zéro, et le concept de la valeur d'utilité d'un programme est perdue. Le but de l'invention de la fiabilité de programme est d'avoir un moyen de mesure qui peut aider à évaluer dans le monde réel la fiabilité d'un système, non seulement en se basant uniquement sur les composantes physiques. Il convient aussi de donner à l'utilisateur un niveau de confiance de la qualité du programme dans le produit délivré.

Il a été démontré que la fiabilité des composants électroniques est une fonction de la complexité du système. Plus le nombre des composants augmentent plus la probabilité de défaillance augmente aussi. Le problème avec

la fiabilité des programmes c'est qu'on n'a pas été capable jusqu'à date de déterminer une façon équivalente à la complexité des circuits électroniques. Un autre aspect de ce problème est le manque de temps pour tester à 100% les programmes et l'incapacité de visualiser le comportement dynamique d'un programme. À titre d'exemple, si on considère le logigramme de la figure 3.4 il a quatre blocs de code séquentiel et huit blocs de décisions. Aussi, on trouve deux boucles, où la boucle intérieure peut être exécutée jusqu'à 12 fois et la boucle extérieure jusqu'à 2 fois. Ce module a 1.6×10^{19} chemins possibles de traverser le logigramme. Si le test de chaque chemin prend une nanoseconde, alors le test de ce logigramme prendra plus que 500 ans.

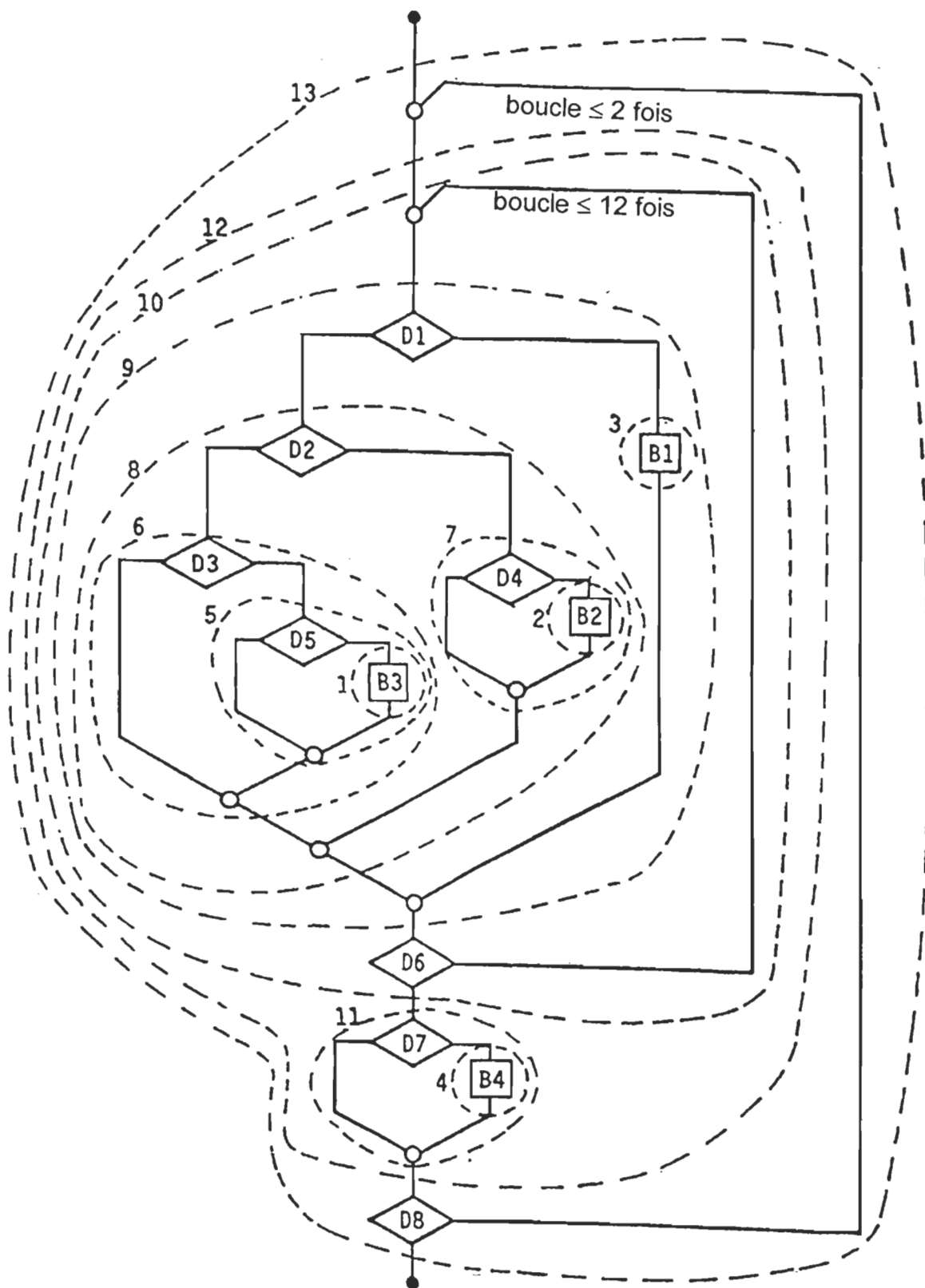


Figure 3.4 Logigramme d'un programme

Cependant, tester tous les chemins dans but de détection des erreurs ne prouve point l'exactitude du module. Le seul moyen d'avoir confiance dans le comportement de ce module est de valider l'exactitude de chaque sous structure. Dans ce logigramme, on identifie 13 blocs imbriqués, pour chaque on doit vérifier si pour toutes les données d'entrées possibles il générera les bonnes données de sorties. Puisque chaque bloc a une seule entrée, est une seule sortie, la sortie du bloc intérieur sert comme élément d'entrée ou de sortie pour le bloc extérieur. C'est alors seulement un ensemble de 13 tests sera nécessaire et le niveau de difficulté de vérification est dramatiquement minimisé. C'est seulement de cette façon que la fiabilité des programmes peut être accompli avec une façon réalisable.

Le test de toutes les possibilités d'un programme est une tâche complexe et assez longue, ceci explique la raison pourquoi les programmes qui ont été réalisés jusqu'à aujourd'hui pour l'utilisation dans le secteur privée et public contient encore des erreurs.

CHAPITRE IV

MÉTHODOLOGIE DE CALCUL DE LA FIABILITÉ

4.1 Prédiction de la fiabilité

Pendant le développement d'un système, la prédiction sert de guide quantitatif par lequel les possibilités de développement pourront être évaluées pour la fiabilité attendue. Généralement la prédiction de la fiabilité englobe l'évaluation de la faisabilité, la comparaison des configurations, l'identification des problèmes potentiels pendant la conception, l'étendue du coût, la détermination des paramètres critiques, l'allocation des valeurs requises pour le système et finalement fournir des critères pour augmenter la fiabilité et réaliser des tests.

4.1.1 Objectif

L'objectif de la prédiction de la fiabilité et d'estimer par algorithme de calcul la fiabilité d'un certain type de la conception. Cette prédiction est plus rentable et économique dans les premières étapes de développement d'un produit, même avant que le système ne soit construit et testé.

La méthodologie de prédiction de la fiabilité est une des clés du développement d'un système qui permet à la fiabilité d'être partie intégrale du processus du développement.

4.1.2 Méthodes de spécification de la fiabilité

La fiabilité doit être définie quantitativement pour donner une dimension compréhensible. La figure 4.1 montre quatre façons pour définir la fiabilité.

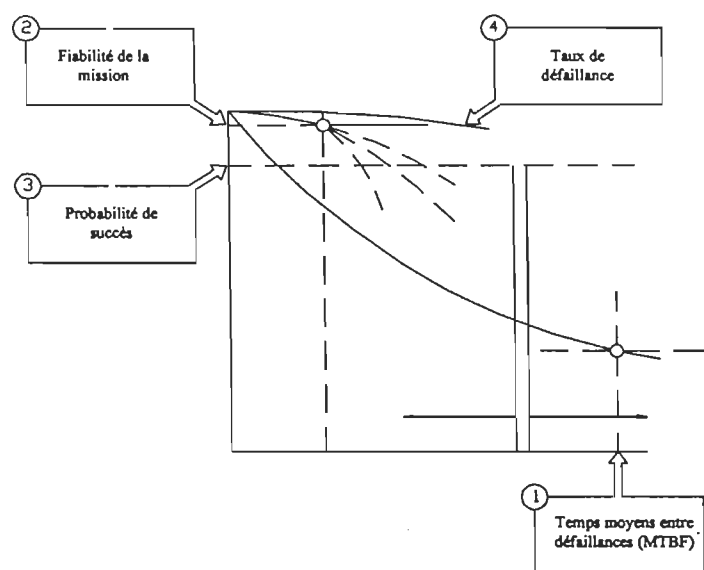


Figure 4.1 Définition de la fiabilité¹

Durée de vie ou temps moyens entre défaillances (MTBF): Cette définition est valide pour des système de longue durée de vie, dans laquelle la forme de la

¹ Electronic Reliability Design Handbook MIL-HDBK-338-IA, U.S. Department of Defense, 1988.

distribution de la fiabilité n'est pas critique ou quand la durée de la mission planifiée est relativement courte par rapport à la durée de vie spécifiée du produit. Malgré que cette définition est adéquate pour spécifier la durée de vie, elle ne donne aucune assurance de niveau de fiabilité au début de vie du produit sauf si une distribution exponentielle est reconnue valide pour le système.

Fiabilité de la mission pour une période $t(m)$. Cette définition valide pour définir la fiabilité quand une grande fiabilité est requise pendant la durée de mission, par contre la durée de vie au delà de la période de mission spécifiée n'a aucune signification à part la disponibilité.

Probabilité de succès est indépendante du temps. Cette définition est valide pour spécifier la fiabilité des systèmes d'utilisation unique, comme les missiles. Elle est valide aussi pour les systèmes cycliques comme les systèmes de lancement.

Taux de défaillance pour une période de temps. Cette définition est valide pour spécifier la fiabilité des composants, unités et assemblages où la durée de vie très longue, où la fiabilité pour une période donnée de temps est proche de l'unité.

L'exigence de la fiabilité peut être spécifiée de deux façons :

- Valeur nominale, où le client est satisfait par la valeur moyenne;
- Valeur minimum acceptable, où le client est insatisfait et le système est inacceptable en bas de cette valeur.

Le tableau 4.1 suivant résume les méthodes appropriées pour établir la fiabilité exigée pour différents fonctions, utilisations et conditions.

Tableau 4.1 :

Méthodes de spécifications de la fiabilité en fonction du niveau de complexité et conditions d'utilisations.²

Conditions d'utilisations Niveau de complexité	fonction continue longue vie (repérable)	fonction intermittente courte vie (repérable)	fonction continue ou intermittente (non réparable)	fonction utilisation unique (indépendante du temps)
- Systèmes complexes	R(t) OU MTBF	R(t) OU MTBF	R(t) OU MTBF	P(s) OU P(f)
- Systèmes - Sous-systèmes - Groupes - Ensembles	R(t) OU MTBF	R(t) OU MTBF	R(t) OU λ	P(s) OU P(f)
- Unités - Assemblages - Sous-assemblages - Composants	λ	λ	λ	P(f)
R(t) = Fiabilité pour un temps spécifiée MTBF = Temps moyen entre défaillance P(s) = Probabilité de succès P(f) = probabilité de défaillance λ = Taux de défaillance				

² Electronic Reliability Design Handbook MIL-HDBK-338-IA, U.S. Department of Defense, 1988.

4.1.3 Techniques de prédiction

En général il existe une hiérarchie pour les techniques disponibles pour la prédiction de la fiabilité. Elles dépendent de la profondeur des connaissances de la conception et de la disponibilité des données historiques de la fiabilité des composants. Quand le système évolue du stade de conception passant par le développement à la production, les données caractérisant le système évoluent parallèlement d'une description qualitative de la fonction du système à des spécifications et matériel à utiliser pour la réalisation.

Par conséquent les techniques hiérarchiques ont été développées pour accommoder les différentes études de fiabilité et d'analyse en fonction de la disponibilité des données pendant les étapes progressives du développement du système. Ces techniques peuvent être classées en cinq catégories en fonction de la disponibilité des données d'analyse. Ces catégories sont :

a) Techniques des équipements similaires : L'équipement en considération est comparé avec un équipement similaire d'une fiabilité connue en estimant le niveau de fiabilité probable.

b) Technique de complexité similaire : La fiabilité d'un nouveau design est estimée en fonction de la complexité relative en respectant l'aspect de similarité de type.

c) Technique de prédiction par fonction : Ultérieurement démontrée, la corrélation entre la fonction opérationnelle et la fiabilité est prédite pour un nouveau design

d) Techniques de dénombrements des composants : La fiabilité de l'équipement est estimée en fonction du nombre de composants, ces derniers sont regroupés en différentes classes de fiabilité connue.

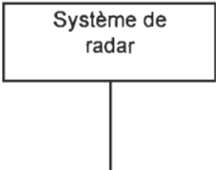
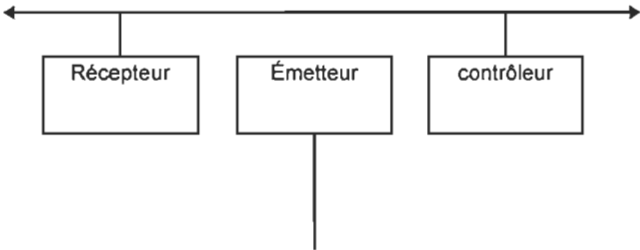
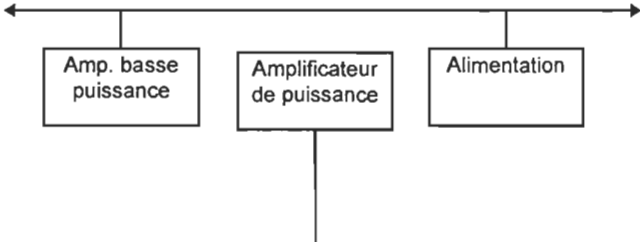
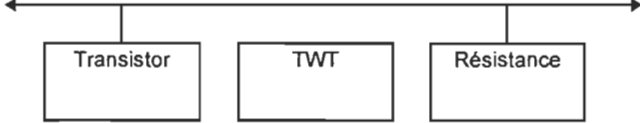
e) Technique d'analyse du stress : Le taux de défaillance est déterminé en fonction du taux de défaillance de chaque composant, du niveau de la charge appliqué, du type du composant et des variables intérieures et extérieures.

Au fur et à mesure que l'équipement progresse de l'état conceptuel aux phases de réalisations, les données deviennent de plus en plus disponibles et la technique à utiliser descend dans un niveau plus bas dans le système hiérarchique.

L'exemple suivant illustre l'utilisation de chaque technique en fonction de la progression dans les étapes.

Tableau 4.2 :

Exemple d'utilisation des techniques en fonctions des étapes de développement.³

Étude préliminaire	<p>système</p> 	- Équipement similaire (fiabilité connue, complexité similaire)
conception niveau 1	<p>sous-systèmes</p> 	<p>- Équipement similaire</p> <p>- Complexité similaire, prédiction par fonction</p>
conception niveau 2	<p>assemblages</p> 	<p>- Dénombrement des composants</p> <p>- Analyse grossière du stress</p>
conception détaillée	<p>composants</p> 	- Analyse du stress

³ Electronic Reliability Design Handbook MIL-HDBK-338-IA, U.S. Department of Defense, 1988.

4.1.4 Modèle mathématique pour la prédiction de la fiabilité pour les systèmes électroniques

Considérant un système simple composé de N éléments indépendants en série, l'équation de la fiabilité est :

$$R_s = \prod_{i=1}^N R_i \quad (4.1)$$

où :

R_s : Fiabilité du système ou équipement

R_i : Fiabilité de chaque composant ou sous-système

L'équation 4.1 est l'expression de la probabilité du succès, si on introduit le facteur temps l'équation devient

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^N R(t)_i \quad (4.2)$$

$R_s(t)$: Probabilité que le système ne tombe pas en panne avant le temps t, un système est considéré comme étant la combinaison de n éléments, dont aucun ne peut tomber en panne sans l'entraînement de la panne du système.

$R(t)_i$: Probabilité que le i ème élément du système ne tombe en panne avant le temps t.

Si on considère que chaque $R(t)_i$ est distribué exponentiellement avec un taux de défaillance λ_i constant, alors on aura :

$$R_S(t) = \prod_{i=1}^N e^{-\lambda_i t} = \exp\left(-\sum_{i=1}^N \lambda_i t\right) \quad (4.3)$$

et

$$\lambda_S = \sum_{i=1}^N \lambda_i \quad (4.4)$$

avec le :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_S} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \lambda_i} \quad (4.5)$$

(4.3), (4.4), (4.5), représentent les équations de bases utilisées pour la prédiction de la fiabilité des systèmes pour les équipements électroniques.

L'utilisation de la distribution exponentielle pour la défaillance des systèmes complexes est toujours justifiée à cause des nombreuses forces qui pourraient agir sur le système et en produire la défaillance. La détérioration des mécanismes, le différent niveau de risque des fonctions de défaillances et la variation des conditions de l'environnement mènent souvent à des défaillances aléatoires du système.

Une autre justification d'assumer une distribution exponentielle pour les systèmes complexes de longue durée de vie est l'approche de l'état stable où le

taux du risque est constant, sans égard aux modèles du taux de défaillance individuel des composants. Cet état résulte du fait de retrouver des composants de différents âges quand les éléments défectueux sont remplacés ou réparés.

Une troisième justification est que l'exponentielle peut être utilisée comme approximation pour des fonctions dans un intervalle de temps particulier où le vrai taux de risque est essentiellement constant.

Finalement, la distribution exponentielle a été valide durant les 25 dernières années pour de nombreux systèmes et équipements électroniques, qui ont donné des résultats qui se rapprochent de beaucoup du champ de données actuel.

À cause de la simplicité mathématique et la théorie abondante développée par plusieurs chercheurs, la densité exponentielle joue un grand rôle dans les travaux de fiabilité. Cependant si les données de défaillance observées ne supportent pas l'hypothèse d'une distribution exponentielle ou si des facteurs comme l'usure sont significatifs, alors une telle supposition est erronée et d'autres distributions comme la loi Lognormale, la loi Gamma et la loi Weibull pourraient fournir des prédictions plus valides.

De plus, si un système contient des composants en redondance, l'établissement de la fiabilité devient plus complexe, même pour des éléments suivant une distribution exponentielle. Cependant tous les systèmes peuvent être

réduits à des combinaisons et/ou modifiés à des configurations de base. Ces configurations sont :

- a) La configuration en série
- b) La configuration en parallèle (redondant)
- c) La configuration mixte, série et parallèle
- d) La configuration partiellement redondante
- e) La configuration redondante en attente (Standby)

4.2 Ajustement des taux de défaillances

4.2.1 Facteurs affectants le taux de défaillances

La défaillance des composants est affectée par les conditions mécanique, électrique, thermique et environnementale (humidité, poussière ou gaz) dans lesquelles ils opèrent. Les chocs et les vibrations ont relativement peu d'effets sur les composants électroniques dû à leur faible poids, mais par contre les composants de type électromécanique comme les relais et les contacteurs y sont sensibles et un mauvais fonctionnement dû aux chocs et aux vibrations peut en résulter. L'emploi du taux de défaillance obtenu de l'utilisation des systèmes est applicable à la nouvelle conception, mais il dépend aussi bien du degré de similarité existante que des conditions environnementales. Cependant les données dans certains environnements peuvent ne pas être utilisées dans d'autres environnements; d'autres facteurs peuvent entrer en jeu, comme

l'utilisation différente des systèmes, le changement d'opérateur ou l'efficacité du plan de maintenance.

4.2.2 Effet de la température

L'un des plus importants agresseurs qui réduit considérablement la fiabilité des composants électronique est la température élevée. Généralement quand la température de travail d'un composant augmente plus que la normale, le taux de défaillance croît en conséquence.

Dans certains cas la relation entre la défaillance et la température peut être modélisée mathématiquement par l'effet de la température sur la vitesse de la réaction chimique. Plusieurs défaillances des composants électroniques sont causées par des réactions chimiques entre le matériau du composant et un contaminant. Ces contaminants peuvent être introduits lors de la fabrication ou par infiltration dûs à une mauvaise isolation. La réaction chimique entre le composant et le contaminant cause une consommation du matériau ou un dommage dû au produit de la réaction, qui provoque ensuite la défaillance.

4.2.3 Taux de défaillance et température

On peut relier la température et le taux de défaillance si on considère les deux modes de défaillance suivants :

a) L'un est dû à la mauvaise isolation; dans ce cas la défaillance est directement dépendante de la température, puisque le taux de transfert de masse dépend de la température.

b) L'autre dû à l'inclusion des impuretés dans le composant pendant la fabrication. Quand une masse m du matériel du composant subit un changement chimique impliquant l'impureté, le composant tombe en panne. Si le changement se développe à un débit k alors le temps total pour la consommation de la masse est :

$$T = \frac{m}{k} \quad (4-6)$$

et le taux de défaillance est :

$$\lambda = \frac{1}{T} = \frac{k}{m} \quad (4-7)$$

La masse m et la vitesse k varient d'un composant à un autre, cependant la masse peut être connue et le taux k peut être estimé par l'équation :

$$k = a * T_{AV} * \exp\left(\frac{-b}{T}\right) \quad (4-8)$$

avec :

a, b : Constantes

T : Température réelle

T_{AV} : Température moyenne de la réaction

Un autre facteur important à considérer lors de l'analyse de l'effet de la température sur le taux de défaillance est celui de l'augmentation de la température interne des composants dissipant de la chaleur.

L'équation la plus utilisée est la suivante :

$$T_j = T_c + \theta_{jc} * P \quad (4-9)$$

avec :

T_j : Température de jonction

P: Puissance dissipée dans le circuit

θ_{jc} : Résistance thermique entre les jonctions et le boîtier

- Pour les semi-conducteurs discrets (Annexe 1, Tableau 1)

- Pour les microcircuits (Annexe 1, Tableau 2)

T_c : Température du boîtier

Dans le cas où aucune analyse thermique du boîtier n'est réalisée, le tableau 4.3 suivant établi dans le MIL-HDBK 217F indique la température du boîtier dans des environnements différents.

Tableau 4.3

Température des boîtiers en fonction de l'environnement⁴

Environnement	T _c (°C)
G _B	35
G _F	45
G _M	50
N _S	45
N _U	50
A _{IC}	60
A _{IF}	60
A _{UC}	75
A _{UF}	75
A _{RW}	60
S _F	35
M _F	50
M _L	60
C _L	45

⁴ Reliability Prediction of Electronic Equipment MIL-HDBK-217F, U.S. Department of Defense, 1991.

Ce tableau n'est pas valide si le composant opère au delà de la charge nominale prescrite par le fabricant.

Pour les circuits hybrides :

$$\theta_{JC} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{k_i} \right) * (L_i)}{A} \quad (4-10)$$

n : Nombres de couches de matériel

K_i : Conductivité thermique du i eme matériel (Annexe 1, tableau 3)

L_i : Épaisseur de la i eme couche

A : Surface de la matrice, si pas connue ou peut l'estimer par l'équation:

$$A = [0.00278 * (\text{Nombre de terminal active de la matrice}) + 0.0417]^2 \quad (4-11)$$

et T_J est obtenue par l'équation :

$$T_J = T_C + 0.9(\theta_{JC}) * (P_D) \quad (4-12)$$

avec

T_C : Température du boîtier

P_D : Puissance de dissipation de la matrice

4.2.4 Effet du stress du voltage

L'effet de la variation du voltage sur le taux de défaillance dépend du type du composant. Dans certaines situations la variation du voltage n'a aucun effet sur le taux de défaillance, mais cependant elle a un effet sur la température du composant; ceci s'illustre bien pour les résistances. Dans d'autres cas, comme celle des condensateurs non-polarisés, la variation du voltage affecte considérablement le taux de défaillance. Une règle empirique souvent utilisée est la loi du cinquième de puissance (fifth power law) qui assume un taux de défaillance proportionnel au cinquième de la puissance du voltage du condensateur.

$$\lambda = \lambda_b * T^5 \quad (4-13)$$

avec :

$$T = \frac{\text{Peak of voltage}}{\text{Testing voltage}} \quad (4-14)$$

4.3 Ajustement du taux de défaillance

Le taux de défaillance de base donné dans la littérature correspond à des conditions de contraintes souvent différentes de celles rencontrées dans les applications à étudier. Il s'avère nécessaire de les ajuster pour tenir compte des contraintes mécaniques, thermiques, électriques et d'ambiance envisagées pour le système.

La détermination des taux de défaillance nécessite un investissement considérable; il est généralement fait par des organismes spécialisés ou par les fabricants des composants. Ces taux ainsi définis correspondent à la période de maturité des composants et ils sont constants dans le temps. Ces taux sont exprimés en pourcentage de défauts par 1000 heures, en nombre de défauts par million d'heures (10^6h), ou encore en FIT (failures in time) (10^9h) C'est toujours le temps où le composant fonctionne effectivement, qui est pris en considération.

Une des méthodes la plus utilisée pour la prédiction du taux de défaillance des composants est la norme américaine MIL-HDBK-217F qui permet d'évaluer et d'ajuster le taux de défaillance d'un circuit intégré en fonction de sa complexité, de la technologie employée, et de l'environnement dans lequel le système est utilisé. Cette méthode appelée l'analyse du stress des composants "Part stress analysis prediction", est applicable lorsque la majorité de la conception du système est terminée et qu'on peut dresser une liste de tous les composants et identifier les facteurs causant le stress.

Les modèles des taux de défaillances sont établis pour une variété de composants utilisés dans les équipements électroniques. Ces composants sont regroupés dans les catégories majeures suivantes :

- Micro-circuit
- Semi-conducteurs
- Tubes
- Lasers
- Résistances
- Condensateurs
- Composants inductives
- Composants rotatives
- Relais
- Interrupteurs
- Connecteurs
- Interconnexions et assemblage
- Connexions
- Autres composants

Chaque catégorie est régie par un modèle qui lui est propre et qui comporte les variables affectant le taux de défaillance, permettant ainsi l'ajustement. Le tableau 4.4 suivant résume les facteurs de type π et leurs description pour les modèles de taux de défaillance à l'exception des micro-électroniques.

Tableau 4.4

Facteurs d'ajustements des taux de défaillances en fonction des composants⁵

Facteur	Description
<i>Facteurs communs utilisés dans la majorité des catégories</i>	
π_E	Environnement: tient compte de l'influence des facteurs environnementales autre que la température, et qui dépend de la catégorie de l'application.
π_Q	Qualité: tient compte des effets de différents niveaux de qualité.
<i>Diode</i>	
π_T	Température: tient compte du facteur de dissipation de la chaleur
π_S	Stress du voltage: Ajuste les modèles pour le stress électrique , à l'addition de l'effet de la puissance inclus dans λ_b
π_C	Contact: Facteur tenant compte du type du construction du contact
<i>Résistances</i>	
π_T	Température: tient compte du facteur de l'augmentation de la température
π_S	Voltage: Tient compte du stress du voltage

⁵ Reliability Prediction of Electronic Equipment MIL-HDBK-217F, U.S. Department of Defense, 1991.

Tableau 4.4 (suite)

Facteur	Description
Résistances (suite)	
π_P	Puissance: Tient compte de la dissipation de la puissance
Condensateurs	
π_T	Température: tient compte de l'augmentation de la température
π_{SR}	Résistance: Tient compte de la résistance de série
π_V	Voltage: Tient compte du stress du voltage
π_C	Capacité: tient compte de la valeur du condensateur
Composants inductives	
π_T	Température: tient compte de l'augmentation de la température
Connecteurs	
π_T	Température: tient compte de l'augmentation de la température
π_K	Cycle: tient compte de la fréquence de branchement et de débranchement

Tableau 4.4 (suite)

Facteur	Description
Interconnexions	
π_C	Facteur de complexité : tient compte du nombre de couches du circuit
Relais	
π_L	Facteur de charge: tient compte du type de charge
π_C	Facteur de forme: tient compte du type de la forme du contact
π_{CYC}	Facteur du cycle: tient compte de nombre de cycle
π_F	Facteur d'application et de construction: tient compte du type d'application et du type de construction
Microprocesseur	
π_L	Facteur d'apprentissage ou de maturité: tient compte du nombre d'années de production
C_1	Facteur de la complexité de la matrice
C_2	Taux de défaillance de l'emballage
π_T	Température: tient compte de l'augmentation de la température

Tableau 4.4 (suite)

Facteur	Description
Microcircuit hybride	
λ_c	Taux de défaillance de chaque type de composant
π_L	Facteur d'apprentissage ou de maturité: tient compte du nombre d'années de production
π_F	Facteur de fonction: tient compte de la fonction du circuit

4.3.1 Semi-conducteurs discrets:

4.3.1.1 Diode basse fréquence:

Le modèle général du taux de défaillance des diodes et transistors est :

$$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_S * \pi_C * \pi_Q * \pi_E \quad \text{défaillances}/10^6 \text{ heures} \quad (4-15)$$

où :

λ_p : Taux de défaillance du composant

λ_b : Taux de défaillance de base

La valeur de λ_b est déterminée en fonction du type de la diode et de l'application, les valeur de λ_b se trouvent dans le tableau 4 de l'annexe 1.

π_T : facteur de température, est obtenue par l'équation :

$$\pi_T = \exp\left(-3091\left(\frac{1}{T_J + 273} - \frac{1}{298}\right)\right) \quad (4-16)$$

avec :

T_J : Température de jonction en °C

π_S : Facteur du stress électrique est égale à :

$$\pi_S = 0.054 \quad V_S \leq 0.3$$

$$\pi_S = V_S^{2.43} \quad 0.3 < V_S < 1$$

avec

$$V_S = \frac{\text{Voltage appliqué}}{\text{Voltage nominale}} \quad (4-17)$$

π_C : Facteur de construction (Annexe 1, tableau 5)

π_Q : Facteur de qualité (Annexe 1, tableau 6)

π_E : Facteur d'environnement (Annexe 1, tableau 7)

4.3.1.2 Résistances

- Le modèle général du taux de défaillance est :

$$\lambda_p = \lambda_b \left(\pi_T * \pi_P * \pi_S * \pi_Q * \pi_E \right) \quad \text{défaillances}/10^6 \text{ heures} \quad (4-18)$$

ou:

π_T : Facteur de température (Annexe 1, tableau 8)

π_p : Facteur de dissipation (Annexe 1, tableau9)

π_s : Facteur du stress de la puissance (Annexe 1, tableau10)

π_E : Facteur d'environnement (Annexe 1, tableau 11)

π_Q : Facteur de qualité (Annexe 1, tableau 12)

λ_b : Taux de défaillance de base (Annexe 1, tableau 13)

4.3.1.3 Condensateurs

- Le modèle général du taux de défaillance est :

$$\lambda_p = \lambda_b (\pi_T * \pi_C * \pi_V * \pi_{SR} * \pi_Q * \pi_E) \text{ défaillances}/10^6 \text{ heures} \quad (4-19)$$

où :

λ_b : Taux de défaillance de base(Annexe 1, tableau 14)

π_T : Facteur de température(Annexe 1, tableau 15)

π_C : Facteur de capacitance (Annexe 1, tableau 16)

π_{SR} : Facteur de résistance de série (Annexe 1, tableau 17)

π_E : Facteur d'environnement (Annexe 1, tableau 8)

π_Q : Facteur de qualité (Annexe 1, tableau 19)

4.3.1.4 Transformateurs

Le modèle général du taux de défaillance est :

$$\lambda_p = \lambda_b (\pi_E * \pi_T) \quad \text{défaillances}/10^6 \text{ heures} \quad (4-20)$$

où :

$$\pi_T = \exp \left(\frac{-11}{8.617 * 10^{-5}} \left(\frac{1}{T_{HS} + 273} - \frac{1}{298} \right) \right) \quad (4-21)$$

$$T_{HS} = T_A + 1.1 * (\Delta T) \quad (4-22)$$

T_A : Température ambiante en °C

ΔT : Augmentation moyenne de la température par rapport à T_A (Annexe 1, tableau 20)

π_Q : Facteur de qualité (Annexe 1, tableau 21)

π_E : Facteur d'environnement (Annexe 1, tableau 22)

λ_b : Taux de défaillance de base (Annexe 1, tableau 23)

4.3.1.5. Connecteurs

Le modèle général du taux de défaillance est :

$$\lambda_p = \lambda_b * \pi_K * \pi_T * \pi_E * \pi_Q \quad (4-23)$$

avec :

λ_b : Taux de défaillance de base (Annexe 1, tableau 24)

π_K : Facteur de connexion \ déconnexion (Annexe 1, tableau 25)

π_T : Facteur de température (Annexe 1, tableau 26)

π_E : Facteur d'environnement (Annexe 1, tableau 27)

π_Q : Facteur de qualité (Annexe 1, tableau 27-1)

N : Nombre de contacts actifs.

π_E : Facteur d'environnement (Annexe 1, tableau 15)

Connecteurs (Integrated circuit sockets)

Pour les bases des circuits intégrés le modèle général du taux de défaillance est :

$$\lambda_p = \lambda_b * \pi_p * \pi_E * \pi_Q \quad (4-24)$$

avec :

λ_b : Taux de défaillance de base (Annexe 1, tableau 28)

π_p : Facteur des contacts actives, obtenu par l'équation :

$$\pi_p = \exp\left(\frac{N-1}{10}\right)^q \quad (\text{Annexe 1, tableau 29})$$

$q=0.39$

N : Nombre de contacts actives

π_E : Facteur d'environnement (Annexe 1, tableau 30)

π_Q : Facteur de qualité (Annexe 1, tableau 31)

4.3.1.6 Connexions:

Connexions aux circuits imprimés (Interconnection assembly with plated trough holes)

Le modèle général du taux de défaillance est :

$$\lambda_p = \lambda_b [N_1 * \pi_C + N_2 * (\pi_C + 13)] * \pi_Q * \pi_E \quad (4-25)$$

avec :

λ_b : Taux de défaillance de base (Annexe 1, tableau 32)

N_1 : Nombre des contacts fonctionnels soudés par vague d'étain

N_2 : Nombre de contacts fonctionnels soudés manuellement

π_C : Facteur de complexité (Annexe 1, tableau 33)

π_E : Facteur d'environnement (Annexe 1, tableau 34)

π_Q : Facteur de qualité (Annexe 1, tableau 35)

Connexions utilisées pour tout autre assemblage

Le modèle général du taux de défaillance est :

$$\lambda_p = \lambda_b * \pi_E \quad (4-26)$$

λ_b : Taux de défaillance de base (Annexe 1, tableau 36)

π_E : Facteur d'environnement (Annexe 1, tableau 37)

Connexions de montage en surface

Le modèle général du taux de défaillance est :

$$\lambda_{SMT} = \frac{ECF}{\alpha_{SMT}} \quad (4-27)$$

où :

ECF: Nombre de défaillance effective déduite du tableau 4.5 suivant :

Tableau 4.5
Valeur de ECF⁶

$\frac{LC}{\alpha_{SMT}}$	ECF
0-0.1	0.03
0.11-2.0	0.15
0.21-0.30	0.23
0.31-0.40	0.31
0.41-0.50	0.41
0.51-0.60	0.51
0.61-0.70	0.61
0.71-0.80	0.68
0.81-0.90	0.76
>0.90	1.0

⁶ Reliability Prediction of Electronic Equipment MIL-HDBK-217F, U.S. Department of Defense, 1991.

LC: Cycle de vie de l'équipement dans lequel le circuit opère

et :

$$\alpha_{SMT} = \frac{NF}{CR} \quad (4-28)$$

CR: Taux de cycle de la température, ce taux est basé sur une analyse thermique du circuit. On utilise les valeurs du tableau 38, Annexe 1, si aucune autre valeur n'est disponible.

NF : Nombre moyen de cycles thermiques avant défaillance avec :

$$NF = 3.5 * \left(\frac{d}{0.65h} \left| \left(\alpha_s * \Delta T - \alpha_{cc} (\Delta T + T_{RISE}) \right) \right| * 10^{-6} \right)^{-2.26} * (\pi_{LC}) \quad (4-25)$$

où :

d : Distance du centre du composant au plus loin joint de soudure en millième de pouce

h : Hauteur du joint du soudure en millième de pouce pour les composants sans pattes, pour tout autre composant on prend h=8

α_s : Coefficient d'expansion thermique de la carte (Annexe 1, tableau 39)

ΔT : Différence des températures extrêmes de l'environnement (Annexe1, tableau 40)

α_{cc} : Coefficient d'expansion thermique du matériel de l'emballage (Annexe1, tableau 41)

T_{RISE} : Augmentation de la température due à la dissipation de la puissance P_d

π_{LC} : Facteur de configuration des broches (Annexe 1, tableau 42)

4.3.1.7 Cristal quartz

$$\lambda_p = \lambda_b * \pi_Q * \pi_E \quad (4-29)$$

avec :

$$\lambda_b = 0.013(f)^{0.23} \quad (4-30)$$

π_E : Facteur d'environnement (Annexe 1, tableau 49)

π_Q : Facteur de qualité (Annexe 1, tableau 50)

4.3.1.8 Relais

Relais mécanique

Le modèle général du taux de défaillance est :

$$\lambda_p = \lambda_b (\pi_E * \pi_L * \pi_C * \pi_{CYC} * \pi_F * \pi_Q) \quad \text{défaillances}/10^6 \text{ heures} \quad (4-31)$$

Si température maximale de fonctionnement est inférieure à 85°C, λ_b est donné par l'équation :

$$\lambda_b = 0.00555 * \exp\left(\frac{T_A + 273}{352}\right)^{15.7} \quad (4-32)$$

Si la température maximale de fonctionnement est inférieure à 125°C, λ_b est donné par l'équation :

$$\lambda_b = 0.0054 * \exp\left(\frac{T_A + 273}{377}\right)^{10.4} \quad (4-33)$$

avec :

π_L : facteur de la charge est donné par l'une de ces trois équations en fonction du type de la charge :

Tableau 4.6

Facteur de charge en fonction du type de charge⁷

	TYPE DE CHARGE		
	RESITIVE	INDUCTIVE	LAMPE
π_L	$\exp\left(\frac{S}{0.8}\right)^2$	$\exp\left(\frac{S}{0.4}\right)^2$	$\exp\left(\frac{S}{0.2}\right)^2$

où

$$S = \frac{\text{charge du courant d'operation}}{\text{charge du courant nominal}} \quad (4-34)$$

π_C : Facteur de forme du contact (Annexe 1, tableau 51)

π_{CYC} : Facteur de cycle (Annexe 1, tableau 52)

π_F : Facteur d'application et de construction (Annexe 1, tableau 53)

π_E : Facteur d'environnement (Annexe 1, tableau 54)

π_Q : Facteur de qualité (Annexe 1, tableau 55)

⁷ Reliability Prediction of Electronic Equipment MIL-HDBK-217F, U.S. Department of Defense, 1991.

Autres types de relais

Le modèle général du taux de défaillance est:

$$\lambda_p = \lambda_b * \pi_Q * \pi_E \quad (4-35)$$

λ_b : Taux de défaillance de base (Annexe 1, tableau 56)

π_E : Facteur d'environnement (Annexe 1, tableau 57)

π_Q : Facteur de qualité (Annexe 1, tableau 58)

4.4 Composants micro-électroniques

Les grandes classes des composants micro-électroniques répertoriées dans le MIL-HDBK 217F NOTICE 2 sont :

- Bipolaire monolithique digitale et linéaire (circuit à matrices de portes logiques)
- Monolithique MOS digitale et linéaire (circuit à matrices de portes logiques)
- Bipolaire monolithique et microprocesseur digitale MOS
- Bipolaire monolithique et mémoires MOS
- "GaAs" digitale monolithique
- "GaAs" MMIC monolithique
- "Microcircuits hybride"
- "Surface acoustics wave devices"

- "Magnetic bubble memories"

Dans cette classification chaque bipolaires monolithique représente tous les composants TTL, ASTTL, DTL, ECL, CML, ALSTTL, HTTL, FTTL, F, LTTL, STTTL, BiCMOS, LSTTL, IIL, I³L, et ISL.

Les MOS représentent tous les microcircuits métal-oxide incluant les NMOS, PMOS, CMOS, et les MNOS. Une distinction entre les modèles est établie en fonction du niveau de la complexité. Un composant qui comporte jusqu'à 100 entrées est assigné à la classe SSI/MSI, (Small / Medium Scale Integration). Le composant qui comporte plus que 100 entrées est un composant de type LSI (Large Scale Integration).

Les fonctions AND, OR, exclusif OR, NAND, NOR et les inverseurs constituent les portes. Si le diagramme logique n'est pas disponible on utilise le nombre de transistors pour déterminer le nombre de portes comme suit :

Tableau 4.7

Détermination du nombre des portes en fonction du nombre des transistors⁸

TECHNOLOGIE	NOMBRE DE PORTES APPROXIMATIF
Bipolaire	Nombre de transistors/3.0
CMOS	Nombre de transistors/4.0
MOS	Nombre de transistors/3.0

4.4.1 Microcircuits

La catégorie des microcircuit comprend :

- "Bipolar devices and linear gate/logic arrays"
- "MOS devices, digital and linear gate/logic arrays"
- "Field Programmable Logic Array (PLA) and Programmable Array Logic (PAL)"
- "Microprocessors"

Le modèle général du taux de défaillance des microcircuits est :

$$\lambda_p = \pi_L * \pi_Q [C_1 * \pi_T * C_2 * \pi_E] \text{défaillances}/10^6 \text{ heures} \quad (4-36)$$

où :

⁸ Reliability Prediction of Electronic Equipment MIL-HDBK-217F, U.S. Department of Defense, 1991.

λ_p : Taux de défaillance du composant

π_Q : Facteur de qualité (Annexe 1, tableau 43)

π_T : Facteur de la température (Annexe 1, tableau 44)

π_E : Facteur d'environnement (Annexe 1, tableau 45)

π_L : Facteur d'apprentissage (Annexe 1, tableau 46)

C_1 : facteur de la complexité de la matrice (Annexe 1, tableau 47)

C_2 : facteur de la complexité de la matrice (Annexe 1, tableau 48)

4.4.2 Microcircuit hybride

Le taux de défaillance du modèle hybride est :

$$\lambda_p = \left[\sum N_c \lambda_c \right] (1 + 0.2\pi_E) * \pi_F * \pi_Q * \pi_L \quad (4-37)$$

où:

N_c : Nombre de chaque composant particulier

λ_c : Taux de défaillance du composant (Annexe 1, tableau 59)

π_E : Facteur d'environnement (Annexe 1, tableau 45)

π_Q : Facteur de qualité (Annexe 1, tableau 43)

π_L : Facteur de densité (Annexe 1, tableau 46)

π_F : Facteur de fonction du circuit (Annexe 1, tableau 60)

CHAPITRE V

PRÉSENTATION DU CAPTEUR INTELLIGENT DU STYRÈNE

5.1 Description générale

De plus en plus la santé des ouvriers dans leur milieu de travail prend de l'importance dans les stratégies d'évolution des compagnies. La naissance de nouvelles technologies utilisant des produits chimiques toxiques exigent un contrôle continu et en temps réel de la qualité de l'environnement immédiat des travailleurs.

Le dégagement des gaz toxiques pendant le processus de fabrication nécessite un contrôle absolu sur la concentration de ces gaz dans l'air pour limiter l'exposition des travailleurs aux dangers menaçant leur sécurité dans le milieu du travail.

C'est pourquoi il y a nécessité de développer un système permettant l'échantillonnage automatique de l'air principalement dans les industries de fibre de verre et de plastique où on assiste à un dégagement des vapeurs de styrène.

Ce gaz qui au delà d'un seuil de concentration permise dans l'air peut causer en exposition prolongée des dommages irréversibles à la santé.

Le système proposé est un ensemble de modules permettant un contrôle en temps réel de la concentration du styrène dans l'air, l'affichage et la mémorisation des données recueillies dans une banque de données pour consultation ultérieure. De plus dans le cas où la détection indique un niveau au delà de la concentration permise, le système peut prendre des actions nécessaires pour éliminer ou minimiser l'exposition en déclenchant une alarme ou en actionnant automatiquement le système de ventilation pour évacuer les gaz détectés ou le système de correction à la source.

5.1.1 Composition du système

Le système se compose principalement de multiple bloc-capteur intelligent relié en réseau à une unité centrale de gestion de données comme illustré par la figure 5.1 :

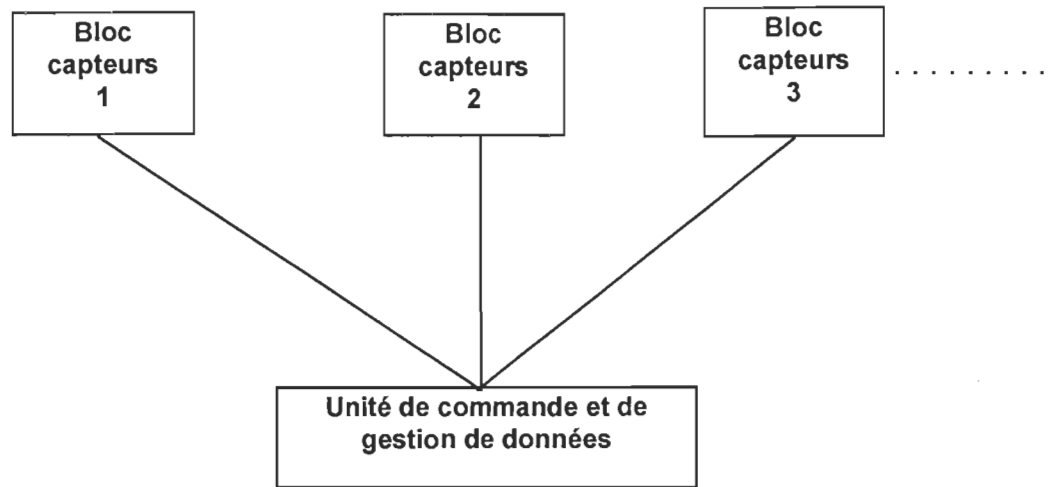


Figure 5.1 Schéma synoptique du système de mesure

Chaque bloc-capteur jouit d'une autonomie d'acquisition de données et d'analyse en temps réel. Par le biais d'un bus de communication, l'unité centrale de commande et de gestion interroge successivement chaque module et affiche les données de la concentration du styrène dans chaque localisation des modules respectifs.

5.2 Composition du bloc-capteur intelligent

Le schéma du bloc est montré dans la figure 5.2. Chaque module est constitué d'un détecteur de styrène avec son conditionneur intégré. Ce détecteur

de styrène est le modèle AG3100, fabriqué par "International Sensor Technologie". Il fait partie de la famille des capteurs à semi-conducteurs. Le principe de fonctionnement est basé sur la variation de la résistance du semi-conducteur en fonction de la concentration du styrène dans l'air. Le conditionneur intégré a pour fonction de transformer cette variation de résistance en tension. Cependant la concentration du styrène dans l'air, dépend d'autres variables notamment la température, l'humidité et la pression. L'intégration de capteurs permettant d'incorporer ces variables et d'ajuster la lecture pour trouver une valeur plus exacte est indispensable dans la constitution du module. Ces capteurs sont reliés à un système de détection et d'analyse de signaux qui fonctionne comme suivant : les lectures prises par ces capteurs sont transformées en signaux électriques, puis amplifiées par un ensemble de conditionneurs ou d'étages.

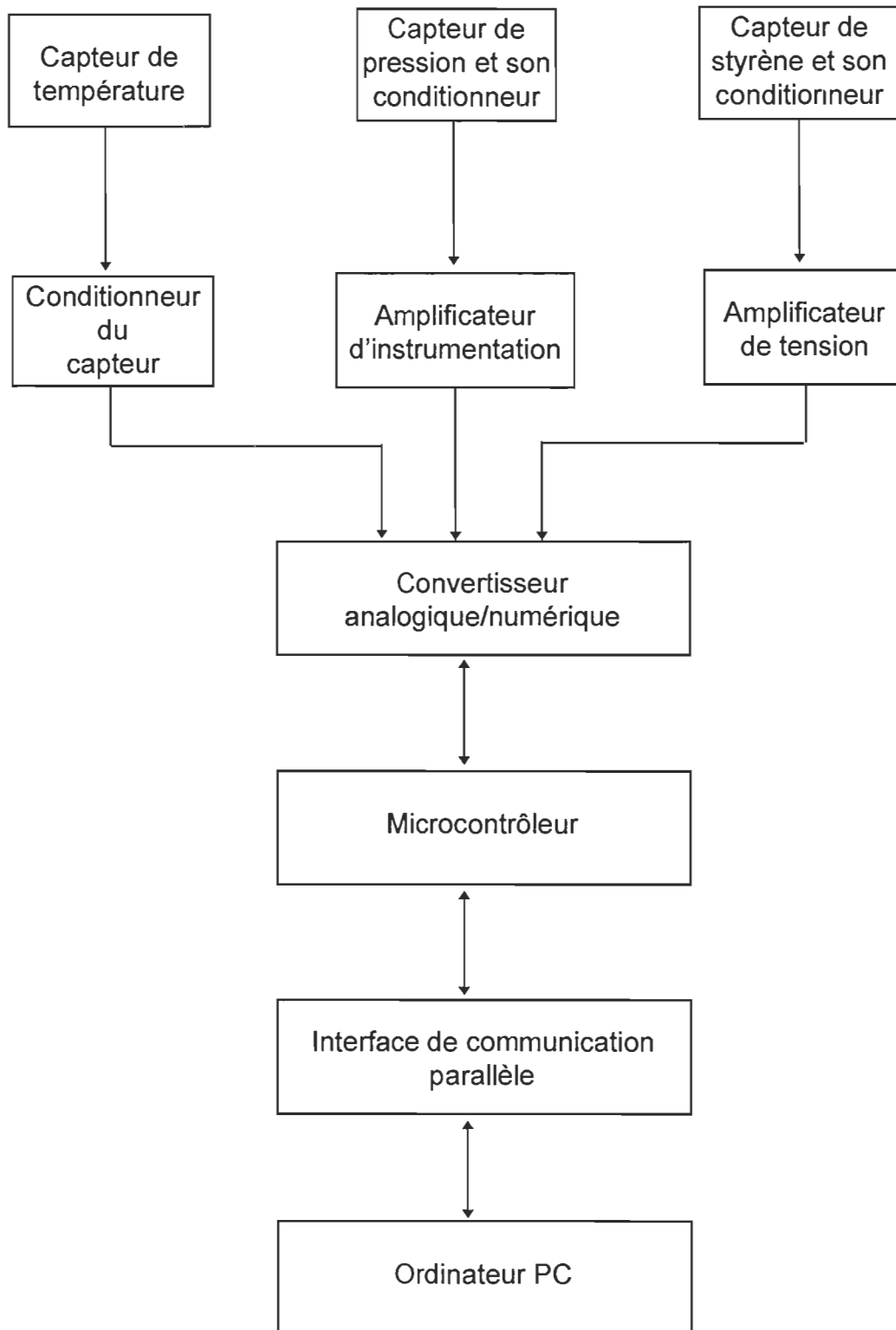


Figure 5.2 Schéma synoptique du bloc-capteur intelligent

A la sortie ces tensions sont converties en valeur numérique par un convertisseur analogique numérique.

La gestion de ces capteurs est assurée par un microcontrôleur, qui a pour rôle de choisir le capteur à interroger, recueillir l'information correspondante à la sortie du convertisseur et finalement effectuer la linéarisation et la mémorisation des données.

Par l'entremise de cette structure, chaque bloc-capteur est autonome et peut prendre certaines décisions localement, en fonction du résultat de la linéarisation. Pour permettre une installation de ces bloc-capteurs en réseau, chaque bloc renferme une interface de communication reliée à un ordinateur qui interroge à tour de rôle les bloc-capteurs, cette console assure une gestion globale des données et finalement peut prendre des actions correctives locales ou globales au niveau de l'environnement à contrôler.

CHAPITRE VI

Définitions du système

6.1 Fonction du système

Le détecteur intelligent des vapeurs de styrène se compose de différents modules disposés en réseau et reliés par un ordinateur. La fonction de chaque module est de faire un échantillonnage de la qualité de l'environnement en détectant la concentration de styrène dans l'air. Chaque module intègre un détecteur de styrène, un détecteur de température, un détecteur de pression et un détecteur d'humidité.

L'acquisition et la gestion des données sont assurés par un microcontrôleur, qui une fois la réception des données complétée, analyse ces données et effectue les corrections nécessaires en fonction des variables acquises. L'ordinateur qui interroge au tour de rôle chaque capteur, donne l'autorisation à chaque module d'envoyer le résultat et les données de l'analyse. Cette liaison est réalisée par un bus de communication bidirectionnelle, et c'est

l'ordinateur qui assure la gestion du réseau, la communication entre les capteurs, et sauvegarde toutes les données envoyées.

Un logiciel permet d'afficher en temps réel, l'état de chaque capteur ainsi que les statistiques de chaque variable et de chaque capteur sur une période donnée. Bien que chaque module soit autonome et jouisse d'une capacité de prendre les décisions en fonction des variables locales, l'implantation en réseau permet une meilleure utilisation du système et permet à une grande échelle l'intégration de plusieurs autres fonctions et la création des bases de données globales et spécifiques à chaque module et à chaque variable.

- Physiquement, chaque module compte un détecteur de styrène, d'humidité, de température et de pression avec les circuits électroniques nécessaires pour l'analyse des données, la communication et l'alimentation.

- Monté dans un boîtier (figure 6.1), on peut distinguer sur la façade principale un écran qui affiche la concentration de styrène, une prise pour la communication avec un ordinateur si désiré, et une prise pour l'alimentation. Ce boîtier est désigné comme étant le module intelligent, autonome, qui permet un échantillonnage de l'air et l'affichage de la concentration du styrène en temps réel.

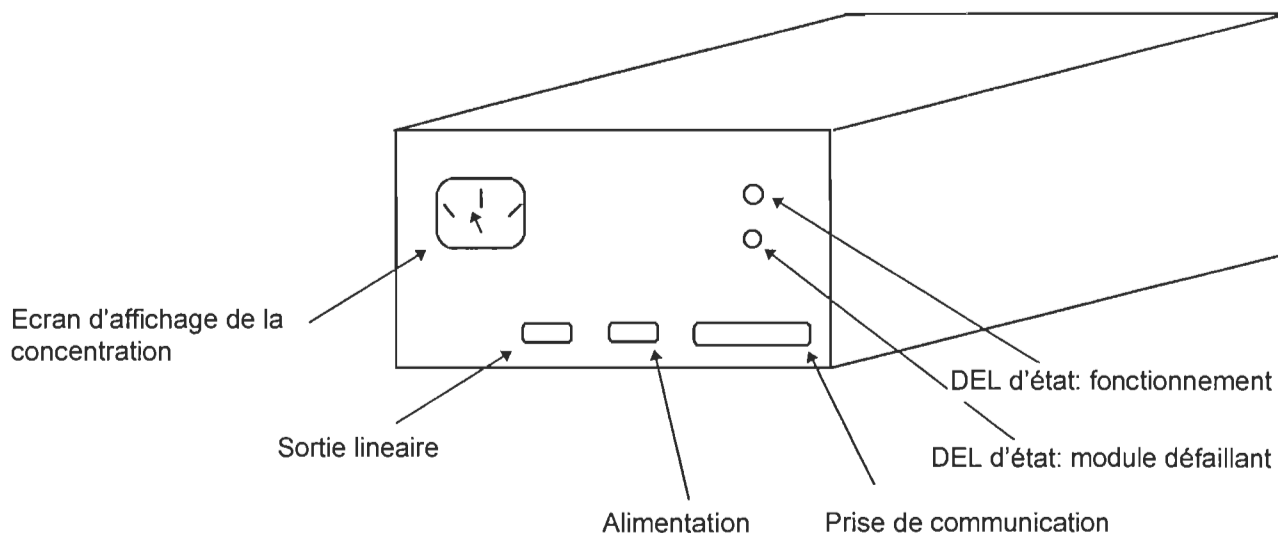


Figure 6.1 Boîtier correspondant au module intelligent de détection des vapeurs de styrène.

6.2. Définition des défaillances

6.2.1. Cas d'utilisation d'un seul module intelligent

Le module intelligent est considéré en état de défaillance si le capteur de styrène est défaillant. Bien que le capteur de température, d'humidité et de pression permettent la correction et l'ajustement de la concentration, le capteur de styrène peut afficher le résultat sans tenir compte de ces variables et même encore dans le cas où tout le système électronique d'analyse est hors service. En excluant le capteur de styrène, toute autre défaillance est reconnue comme

défaillance partielle, que ce soit des capteurs ou du circuit d'analyse, l'affichage de la concentration sans correction est toujours possible. Dans ce dernier cas, la défaillance partielle est indiquée localement par un voyant lumineux.

6.2.2 Cas d'utilisation en réseau

La définition de la défaillance en réseau est en fonction du nombre de modules et du niveau d'autonomie donnée à chaque module et des décisions à prendre en fonction de chaque situation d'urgence. Mais en se basant sur les fonctions complétées de chaque module, la défaillance du système de communication constitue une défaillance que ce soit du côté du module ou de celui de l'ordinateur, car la notion de réseau n'est plus valide, vu qu'il n'y a aucune communication. Or le système est considéré en état de défaillance, dès que l'un des blocs suivants est défaillant :

- * Capteur de styrène;
- * Interface de communication, émetteur, récepteur et vice versa;
- * Bloc d'acquisition de données du module ou de l'ordinateur;
- * Si tout le module intelligent ne répond pas, on peut considérer que le système est en état de défaillance partielle dès que l'un des capteurs de température et d'humidité ou de pression est en état de défaillance.

6.3. Définition des conditions d'utilisation

6.3.1 Profil d'utilisation

Le module intelligent permet un échantillonnage de l'air et la comparaison de la concentration de styrène avec un seuil déjà préétabli. Si utilisé hors réseau, le module affiche les concentrations de styrène, l'état du module en fonction ou hors fonction avec la possibilité de débrancher une alarme sonore, une fois que la concentration détectée est supérieure au seuil sécuritaire.

Si utilisé en réseau, le résultat local est envoyé à l'ordinateur, et celle-ci en fonction de l'état du capteur, du niveau de la concentration, peut prendre différentes actions. L'ordinateur peut demander la validation de l'information reçue, donnant la priorité aux modules localisés à un secteur donné, demander un autre diagnostic à un module spécifique, demander une initialisation à un module, permettre une communication entre deux modules et peut prendre des actions correctives si la concentration du styrène est supérieure à la normale. Ces actions correctives peuvent se traduire par une alarme générale ou locale, un affichage sur un périphérique donné, un appel à une évacuation d'urgence ou activer le

contrôle du système de ventilation pour asservir le taux de changement d'air pour assurer le seuil sécuritaire.

6.3.2 Conditions environnementales

Le système doit être utilisé dans l'industrie où le dégagement de styrène est présent lors des procédures de fabrication. Le module devrait être monté loin des sources excessives de chaleur de champ magnétique, de poussière, d'humidité, d'eau, de vibration et de produits chimiques à haute concentration. Le module peut fonctionner normalement dans une plage de température de 0 à 50° C sans aucun effet sur sa performance. Pour effectuer le calcul nécessaire et donner une estimation de la durée de vie du produit, nous avons fixé la température moyenne de fonctionnement à 25 ° C.

Si utilisé en réseau, l'utilisation des câbles blindés est nécessaire pour la communication et l'installation de l'ordinateur dans un local à environnement contrôlé est primordial. L'utilisation d'un ordinateur industriel est nécessaire si on veut utiliser la console à l'intérieur de l'usine.

6.4 Définition des conditions de maintenance

Une maintenance annuelle du module est recommandée. La maintenance consiste à effectuer les opérations suivantes :

- Changement d'une pastille de type semi-conducteur du capteur de styrène et étalonnage;
- Changement du capteur d'humidité;
- Nettoyage de tous les filtres de protection;
- Enlever délicatement tout dépôt de poussière ou solide sur le module;
- Vérification de toutes les connexions du réseau.

Il n'y a aucun plan spécial de maintenance. Le seul point important est de bien suivre la procédure pour le changement de la pastille du capteur de styrène. Les données acquises par l'ordinateur doivent être intégrées dans le plan de maintenance informatique de l'entreprise et sauvegardées suivant la politique en vigueur.

6.5 Développement du diagramme bloc du module intelligent

Ceci consiste à découper le système en blocs suffisamment réduits de telle sorte que le taux de défaillance peut être estimé à partir des données existantes.

Le diagramme en bloc fonctionnel a pour but de décrire les séquences de fonctionnement à exécuter et le cheminement des signaux, par contre il n'est pas nécessaire de représenter le cheminement logique des signaux et les composants montés en parallèle ne sont représentés ainsi que si la défaillance de l'un d'eux ne provoque pas la défaillance du système.

À première vue, on peut distinguer deux blocs fonctionnels du système de détections, des vapeurs de styrène. Le premier bloc consiste en un regroupement appelé bloc capteur. Ce dernier est constitué pour les quatre capteurs intégrés dans chaque module dont le transducteur de styrène, le transducteur de température, le capteur d'humidité et le capteur de pression. Le deuxième bloc consiste en un regroupement appelé bloc transmetteur. Ce dernier contient les circuits de conditionnement des signaux du bloc capteur, d'un convertisseur A/N, d'un micro-contrôleur, d'une interface de communication et d'un convertisseur N/A. À noter que le même bloc intègre aussi tous les circuits connexes de référence et d'horloge nécessaires pour le fonctionnement du système, ainsi que celui de l'alimentation. La figure 6.2 suivante montre le développement primaire des deux blocs principaux de découpage du système :

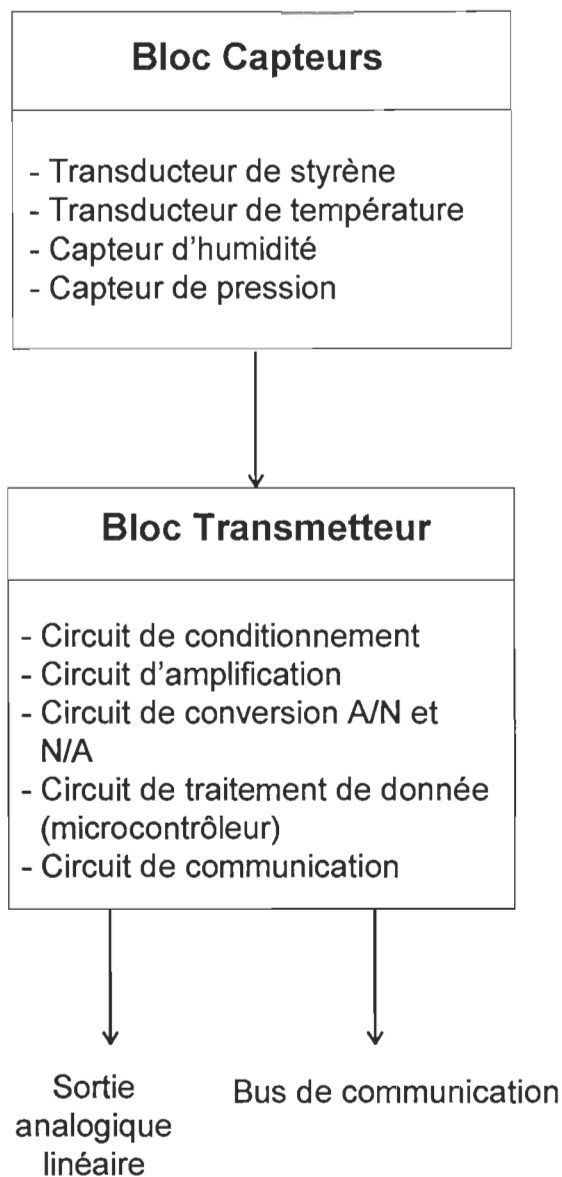


Figure 6.2 Développement primaire des blocs du module intelligent de détection des vapeurs de styrène.

Une fois que le développement primaire est terminé, on continue l'analyse et on procède à la subdivision en blocs secondaires de fonctions distinctes.

En se basant sur ce principe de développement, les identifications des blocs s'avère simple et systématique, car on connaît tous les types et fonctions des circuits auxiliaires nécessaires à développer pour que le système soit opérationnel. Comme montré dans la figure 6.3 le système est découpé en fonction du rôle des circuits dans le module, ce découpage montre et identifie aussi le cheminement logique et fonctionnel des signaux et la relation entre les différents blocs. A cette étape le système et ses fonctions sont clairement identifiés et le circuit électrique et électronique de chaque bloc peut être développé ou identifié. A la fin de cette étape, nous obtiendrons le circuit général du système comme montré dans la figure 6.4

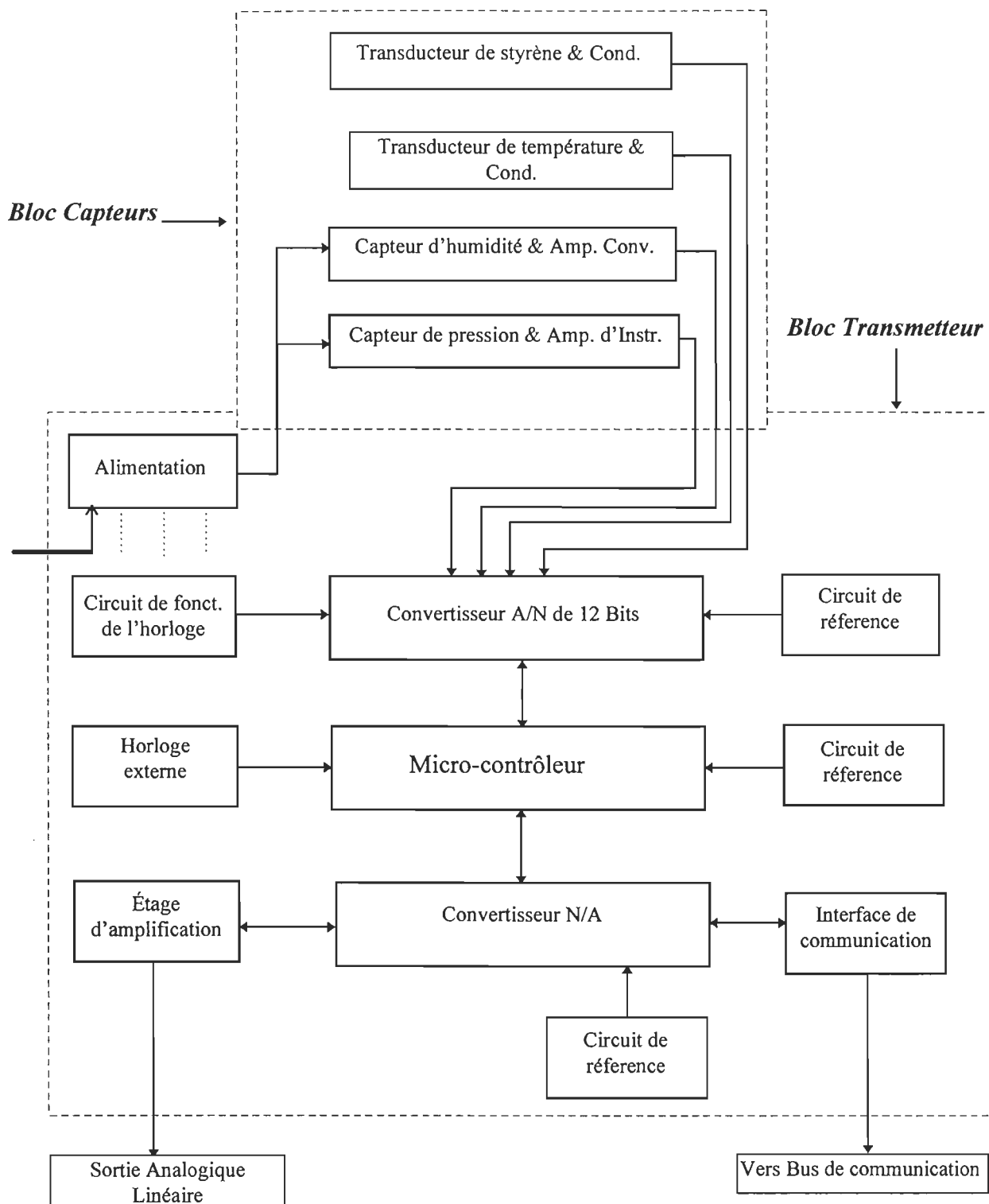


Figure 6.3 Découpage du système en fonction du rôle des circuits dans le module

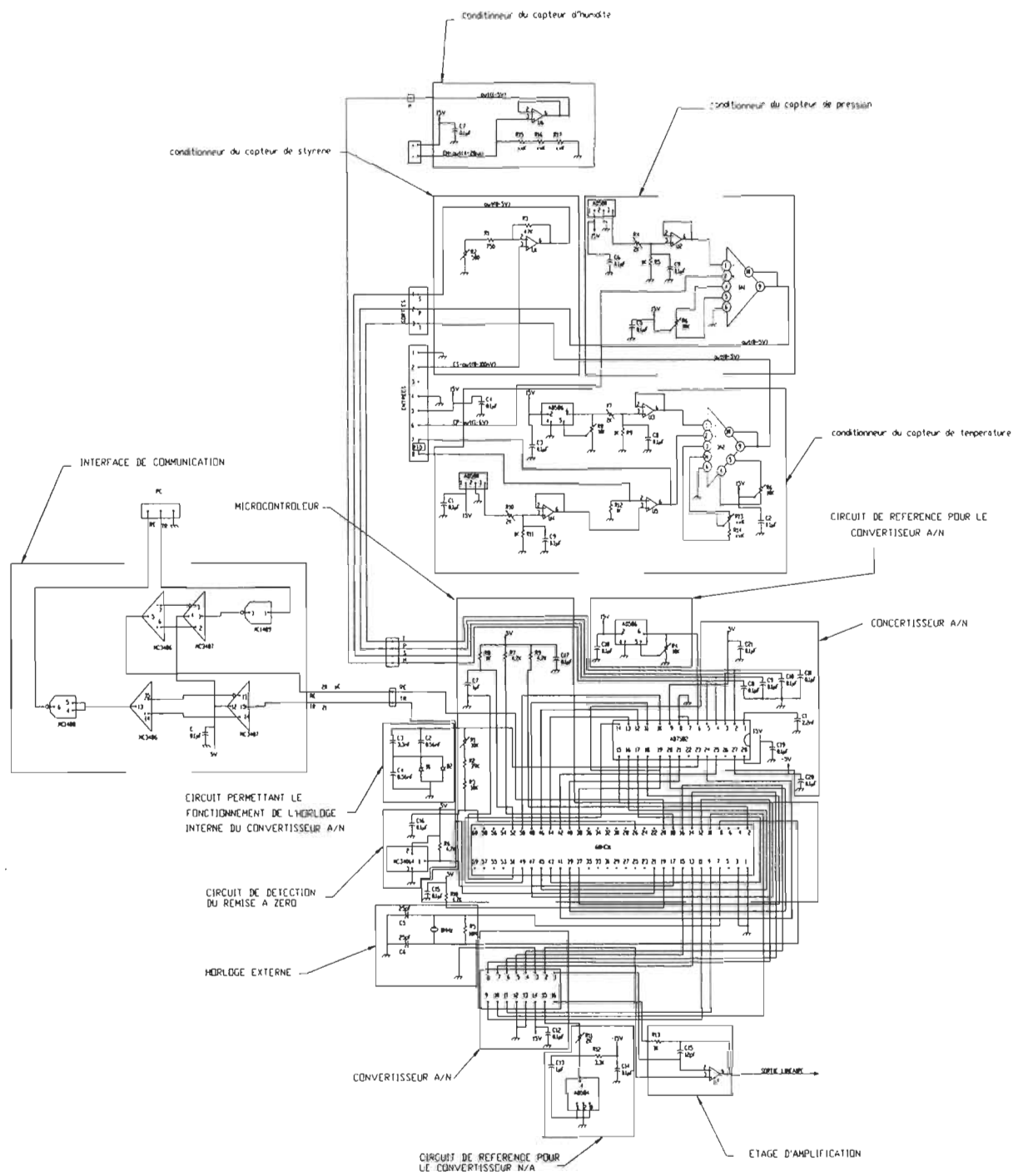


Figure 6.4 Découpage du système en fonction du rôle des circuits dans le module appliquée au schéma du circuit

6.6 Établissement du modèle mathématique

Comme on l'a vu, l'utilisation de la distribution exponentielle pour les systèmes électroniques est largement justifiée et a été validée par les données et résultats réels acquis durant ces dernières années.

En se basant sur le découpage en bloc fonctionnel, figure 6.3, on peut voir facilement que le circuit représente une configuration en série. La défaillance d'au moins d'un de ces blocs entraîne systématiquement la défaillance du système. À l'intérieur de chaque bloc, l'ensemble des composants est considéré comme ayant une configuration série. Cette hypothèse découle du fait que la défaillance d'un seul composant entraînera la défaillance du bloc.

Considérant que les blocs sont indépendants et en série, l'équation de la fiabilité du système est :

$$R_s = \prod_{i=1}^N R_i \quad (6.1)$$

où :

R_s : Fiabilité du système

R_i : Fiabilité de chaque bloc

$N=15$, nombre de blocs

L'équation 6.1 est utilisée également pour déterminer de la même façon la fiabilité du bloc où N représente le nombre des composants constituant un bloc donné.

Si on introduit le facteur temps, l'équation 6.1 devient :

$$R_S(t) = \prod_{i=1}^N R(t)_i \quad (6.2)$$

$R_S(t)$: Probabilité que le système ne tombe pas en panne avant le temps t.

$R(t)_i$: Probabilité que le i ème élément du système ne tombe en panne avant le temps t.

Puisque $R(t)_i$ est distribué exponentiellement avec un taux de défaillance λ_i constant, alors on a :

$$R_S(t) = \prod_{i=1}^N e^{-\lambda_i t} = \exp\left(-\sum_{i=1}^N \lambda_i t\right) \quad (6.3)$$

et

$$\lambda_S = \sum_{i=1}^N \lambda_i \quad (6.4)$$

avec le :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_s} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \lambda_i} \quad (6.5)$$

Les équations (6.3), (6.4) et (6.5) représentent les équations de bases utilisées pour la prédiction de la fiabilité des blocs comme ensemble de composants et du système comme ensemble de blocs.

En réalité, la défaillance d'un certain bloc n'entraîne pas le système dans un état hors fonctionnement et ceci dépend du niveau d'utilisation du module intelligent, utilisé comme une seule unité indépendante ou en réseau. Dans cette présente évaluation de la fiabilité, on considère seulement l'utilisation comme unité indépendante, et que toutes les fonctions du détecteur intelligent des vapeurs de styrènes sont utilisées, ceci pour se mettre dans le contexte le plus large possible. Il faut bien prendre en note que tous les accessoires qui peuvent être connectés au module (alarme locale,...) ne sont pas pris en considération.

6.7 Compilation des listes de composants et fiabilité de chaque bloc

Le calcul des taux de défaillance de chaque composant est calculé en se basant sur les équations décrivent précédemment dans le chapitre V et conformément au MIL-HDBK-217F Notice 2. La dernière colonne de chaque tableau présente le pourcentage de contribution de chaque composants par rapport au taux de défaillance total du bloc.

Tableau 6.7.1

Bloc capteur d'humidité

Composant	λ (fpmh)	Catégorie	% Cont.
SENSEUR D'HUMIDITÉ	38.05	Externe	98.79
C7	0.127	Condensateur	0.3298
CONNECTEUR	0.08418	Connecteur	0.2186
R17	0.0742	Résistance	0.1926
R15	0.0742	Résistance	0.1926
R16	0.0742	Résistance	0.1926
LF411CN	0.02853	Micro,Linear	0.07407
CONNEXION	0.000138	Connexion	0.005733

Taux de défaillance du bloc = 38.52

MTBF = 25960 Heures

Tableau 6.7.2
Bloc capteur de styrène

Composant	λ (fpmh)	Catégorie	% Cont.
SENSEUR DE STYRENE	16.31	Externe	98.45
CONNECTEUR	0.08418	Connecteur	0.5083
AD707J	0.07732	Micro,Linear	0.4668
R1	0.04813	Résistance	0.2906
R2	0.02226	Résistance	0.1344
R3	0.02226	Résistance	0.1344
CONNEXION	0.000138	Connexion	0.01166

Taux de défaillance du bloc = 16.57

MTBF = 60360 Heures

Tableau 6.7.3
Bloc d'alimentation

Composant	λ (fpmh)	Catégorie	% Cont.
FILTRE	0.696	Filtre	23.23
Transformateur 115-6.3	0.4612	Transformateur	15.4
Transformateur 115-36	0.4612	Transformateur	15.4
C1	0.127	Condensateur	4.24
C2	0.127	Condensateur	4.24
C3	0.127	Condensateur	4.24
C4	0.127	Condensateur	2.659
C5	0.127	Condensateur	3.743
C6	0.127	Condensateur	3.743
C7	0.127	Condensateur	4.24
C8	0.127	Condensateur	4.24
C9	0.127	Condensateur	4.24
CONNECTEUR	0.08418	Connecteur, Général	2.81
D1	0.05057	Diode	1.688
D2	0.05057	Diode	1.688
D3	0.05057	Diode	1.688
D4	0.05057	Diode	1.688
FUSIBLE	0.02	Fusible	0.6676
CONNEXION	0.000138	Connexion	0.1612

Taux de défaillance du bloc = 3.003

MTBF = 333100 Heures

Tableau 6.7.4

Bloc convertisseur A/N

Composant	$\lambda(\text{fpmh})$	Catégorie	% Cont.
AD7582	0.9974	Micro,VHSIC/VL SI CMOS	49.38
C8	0.127	Condensateur	6.29
C9	0.127	Condensateur	6.29
C11	0.127	Condensateur	6.29
C19	0.127	Condensateur	6.29
C20	0.127	Condensateur	6.29
C21	0.127	Condensateur	6.29
C1	0.127	Condensateur	6.29
CONNEXION	0.000138	Connexion	0.3006

Taux de défaillance du bloc = 2.026

MTBF = 493600 Heures

Tableau 6.7.5

Bloc microcontrôleur

Composant	λ (fpmh)	Catégorie	% Cont.
MC68H811E2	1.022	Micro,VHSIC/VL SI CMOS	56.29
C7	0.127	Condensateur	6.999
C15	0.105	Condensateur	5.783
C17	0.127	Condensateur	6.999
R1	0.04813	Résistance	2.651
R2	0.0742	Résistance	4.088
R3	0.0742	Résistance	4.088
R7	0.04813	Résistance	2.651
R8	0.04813	Résistance	2.651
R9	0.0742	Résistance	4.088
R10	0.04813	Résistance	2.651
CONNEXION	0.000138	Connexion	1.064

Taux de défaillance du bloc = 1.827

MTBF = 547400 Heures

Tableau 6.7.6
Bloc capteur de température

Composant	λ (fpmh)	Catégorie	% Cont.
C1	0.127	Condensateur	8.261
C2	0.127	Condensateur	8.261
C3	0.127	Condensateur	8.261
C8	0.127	Condensateur	8.261
C9	0.127	Condensateur	8.261
CONNECTEUR	0.08418	Connecteur	5.475
R6	0.04813	Résistance	3.13
R7	0.04813	Résistance	3.13
R8	0.04813	Résistance	3.13
R9	0.0742	Résistance	4.825
R10	0.04813	Résistance	3.13
R11	0.0742	Résistance	4.825
R12	0.0742	Résistance	4.825
R13	0.04813	Résistance	3.13
R14	0.0742	Résistance	4.825
RTD	0.0742	Résistance	4.825
AD624AD	0.05306	Micro,Linear	3.451
AD586	0.02853	Micro,Linear	1.855
LF411CN	0.02853	Micro,Linear	1.855
LF411CN	0.02853	Micro,Linear	1.855
LF411CN	0.02853	Micro,Linear	1.855
AD580	0.02853	Micro,Linear	1.855
CONNEXION	0.000138	Connexion	0.7179

Taux de défaillance du bloc = 1.549

MTBF = 645400 Heures

Tableau 6.7.7

Bloc convertisseur N/A

Composant	λ (fpmh)	Catégorie	% Cont.
AD7524	0.837	Micro,VHSIC/VL SI CMOS	86.6
C12	0.127	Condensateur	13.14
CONNEXION	0.000138	Connexion	0.257

Taux de défaillance du bloc = 0.969

MTBF = 1032000 Heures

Tableau 6.7.8

Bloc capteur de pression

Composant	λ (fpmh)	Catégorie	% Cont.
C5	0.1121	Condensateur	13.47
C6	0.1121	Condensateur	13.47
C9	0.127	Condensateur	15.26
CONNECTEUR	0.084	Connecteur	10.09
R4	0.04813	Résistance	5.78
R5	0.0742	Résistance	8.911
R6	0.04813	Résistance	5.78
AD624AD	0.05306	Micro, Linear	6.373
LF411CN	0.02853	Micro, Linear	3.426
AD580	0.02853	Micro, Linear	3.426
Senseur de pression	0.1112	Externe	13.36
CONNEXION	0.000138	Connexion	0.663

Taux de défaillance du bloc = 0.8387

MTBF = 1192000 Heures

Tableau 6.7.9

Bloc du circuit de référence du convertisseur N/A

Composant	λ (fpmh)	Catégorie	% Cont.
C13	0.1563	Condensateur	33.42
C14	0.127	Condensateur	27.17
R12	0.0742	Résistance	15.87
R11	0.0742	Résistance	15.87
AD584	0.03367	Micro,Linear	7.201
CONNEXION	0.000138	Connexion	0.4722

Taux de défaillance du bloc = 0.4698

MTBF = 2 129 000 Heures

Tableau 6.7.10

Bloc du circuit de fonctionnement de l'horloge du convertisseur A/N

Composant	$\lambda(\text{fpmh})$	Catégorie	% Cont.
C2	0.127	Condensateur	29.12
C3	0.127	Condensateur	29.12
C4	0.07966	Condensateur	18.26
D1	0.05057	Diode	11.59
D2	0.05057	Diode	11.59
CONNEXION	0.000138	Connexion	0.3163

Taux de défaillance du bloc = 0.4379

MTBF = 2 284 000 Heures

Tableau 6.7.11

Bloc interface de communication

Composant	λ (fpmh)	Catégorie	% Cont.
C	0.127	Condensateur	29.7
MC3487	0.1222	Micro,Digital	28.56
CONNECTEUR	0.08418	Connecteur	19.68
MC3486	0.01832	Micro,Digital	4.284
MC3486	0.01832	Micro,Digital	4.284
MC3487	0.01832	Micro,Digital	4.284
MC1489	0.01318	Micro,Digital	3.081
MC1488	0.01318	Micro,Digital	3.081
CONNEXION	0.000138	Connexion	3.033

Taux de défaillance du bloc = 0.4415

MTBF = 2 265 000 Heures

Tableau 6.7.12
Bloc horloge externe

Composant	$\lambda(\text{fpmh})$	Catégorie	% Cont.
C5	0.1121	Condensateur	31.37
C6	0.1121	Condensateur	31.37
CRISTAL 8MHz	0.1321	Cristal quartz	36.96
CONNEXION	0.000138	Connexion	0.3088
C15	0.105	Condensateur	39.25

Taux de défaillance du bloc = 0.3583

MTBF = 2 791 000 Heures

Tableau 6.7.13

Bloc étage d'amplification

Composant	λ (fpmh)	Catégorie	% Cont.
CONNECTEUR	0.08418	Connecteur	31.47
R13	0.04813	Résistance	17.99
LF411CN	0.02853	Micro,Linear	10.67
CONNEXION	0.000138	Connexion	0.6192

Taux de défaillance du bloc = 0.2698

MTBF = 3 706 000 Heures

Tableau 6.7.14

Bloc circuit de référence du convertisseur A/N

Composant	$\lambda(\text{fpmh})$	Catégorie	% Cont.
C18	0.127	Condensateur	61.82
R4	0.04813	Résistance	23.42
AD586	0.02853	Micro,Linear	13.88
CONNEXION	0.000138	Connexion	0.8731

Taux de défaillance du bloc = 0.2073

MTBF = 4 824 000 Heures

Tableau 6.7.15

Bloc circuit de référence du microcontrôleur

Composant	$\lambda(\text{fpmh})$	Catégorie	% Cont.
C16	0.127	Condensateur	61.86
R6	0.04813	Résistance	23.44
MC34064	0.02853	Micro, Linear	13.89
CONNEXION	0.000138	Connexion	0.8064

Taux de défaillance du bloc = 0.2065

MTBF = 4 844 000 Heures

6.8 Combinaison des taux de défaillance des blocs et fiabilité du système

À ce stade on a calculé le taux de défaillance des composants dans chaque bloc faisant partie intégrante du système. Le tableau 7.8.1 montre le taux de défaillance des blocs avec leur temps moyen avant défaillance.

Le taux de défaillance de tout le système est calculé suivant l'équation 6.4 est égal à la somme de tous les taux de défaillance des blocs composant le détecteur intelligent des vapeurs de styrène, présenté à la deuxième colonne du tableau 6.8.1 :

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^N \lambda_i = 67.69 \text{ défaillances par million d'heures}$$

Le temps moyen de défaillance est calculé en utilisant l'équation 6.5 :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_s} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \lambda_i} = 14\,770 \text{ heures}$$

Tableau 6.8.1

Taux de défaillance et pourcentage de contribution de chaque bloc dans la
défaillance totale du détecteur intelligent des vapeurs de styrène

Bloc	λ (fpmh)	MTBF	% Contribution
Capteur d'humidité	38.52	25 960	56.91
Senseur de Styrène	16.57	60 360	24.47
Bloc d'alimentation	3.003	333 100	4.436
Convertisseur A/N	2.026	493 600	2.993
Microcontrôleur	1.827	547 400	2.699
Capteur de température et cond.	1.549	645 400	2.289
Convertisseur N/A	0.969	1 032 000	1.432
Senseur de pression	0.8387	1 192 000	1.239
Circuit de ref. Conv. N/A	0.4698	2 129 000	0.6941
Circuit Horl. Conv. A/N	0.4379	2 284 000	0.647
Interface de communication	0.4415	2 265 000	0.6522
Horloge externe	0.3583	2 791 000	0.5294
Etage d'amplification	0.2698	3 706 000	0.3986
Cir. Ref. Conv. A/N	0.2073	4 824 000	0.3062
Cir de ref.	0.2065	4 844 000	0.305

6.9 Synthèse

Le taux de défaillance du capteur intelligent des vapeurs de styrène est de 67.69 défaillance par million d'heures, et le temps moyen de défaillance est de 14 770 heures. Le tableau 7.8.1 représente les données relatives à chaque bloc, et nous donne par ordre décroissant le taux de défaillance. Si on regarde seulement la dernière colonne du tableau on peut voir le pourcentage de contribution de chaque bloc dans le taux de défaillance du détecteur intelligent des vapeurs de styrène. Si on parcourt simplement cette colonne on peut identifier facilement les blocs critiques ou ceux ayant un taux de défaillance assez élevés et qui nécessitent un regard plus approfondie pour essayer de réduire leur pourcentage de contribution au taux de défaillance.

Le capteur d'humidité représente par lui même seul, plus que la moitié du taux de défaillance avec une contribution de 56.91%, en seconde place le capteur de styrène avec une contribution de 24.47%. En premier temps il nous faut regarder plus en détail ces deux blocs critiques car la fiabilité du système est directement reliée au pourcentage de contribution de chaque bloc.

À titre d'exemple, si on peut réduire le taux de défaillance du capteur d'humidité à celui du capteur de styrène, le taux de défaillance du capteur intelligent des vapeurs de styrène sera de 45.74 défaillance par million d'heures, et le temps moyen de défaillance sera de 21860 heures. Ce qui nous donne une augmentation de 48% du MTBF.

CHAPITRE VII

TESTS AU LABORATOIRE

Les tests en laboratoire ont été réalisés en très grande partie par Mr. Kodjo Agbossou, chercheur post-doctoral. Les données du présent chapitre ont été tirées de son rapport (25). J'aimerais souligner ma reconnaissance et mon appréciation de sa contribution dans la présente étude.

7.1 Objectif

L'objectif de ces tests est de permettre de valider le comportement du système au laboratoire avant l'utilisation dans l'industrie. Une première étape concerne l'étalonnage des différents capteurs qu'intègre le détecteur des vapeurs de styrène et la réalisation des tests de qualification.

La deuxième étape est un test de simulation, il consiste à injecter des quantités contrôlées de styrène et de voir la réaction et le comportement de tout le système tout en variant en même temps ou individuellement les variables qui affectent la lecture et la concentration des vapeurs de styrène.

Finalement, l'évaluation de la performance de la communication et de saisie et traitement de données, le tout est validé par une comparaison entre les valeurs lues par le système et les valeurs réelles.

7.2 Étalonnage des capteurs

7.2.1 Capteur d'humidité

Le capteur d'humidité modèle RH-2 de Général Eastern, possède un transmetteur qui fournit un courant de sortie linéaire de 4 à 20 mA correspondant respectivement de 0 à 100% d'humidité relative. Le circuit de conditionnement de ce transmetteur est donné dans la figure 7.4 du chapitre précédent. Ce circuit permet de convertir le courant correspondant au taux d'humidité relative en tension.

L'humidité relative expérimentale est mesurée avec un psychromètre de Cole-Palmer modèle 3312-40. La figure 7.1 représente le schéma du montage d'étalonnage du capteur d'humidité. Le bêcher entièrement fermé, est percé à deux endroits. On chauffe à différente température l'eau du bêcher et le taux d'humidité augmente. En même temps qu'on stabilise l'eau, on fait circuler à débit constant une certaine quantité d'air qui entre par un des orifices et sort par l'autre. L'air humide qui sort est détecté par le psychromètre.

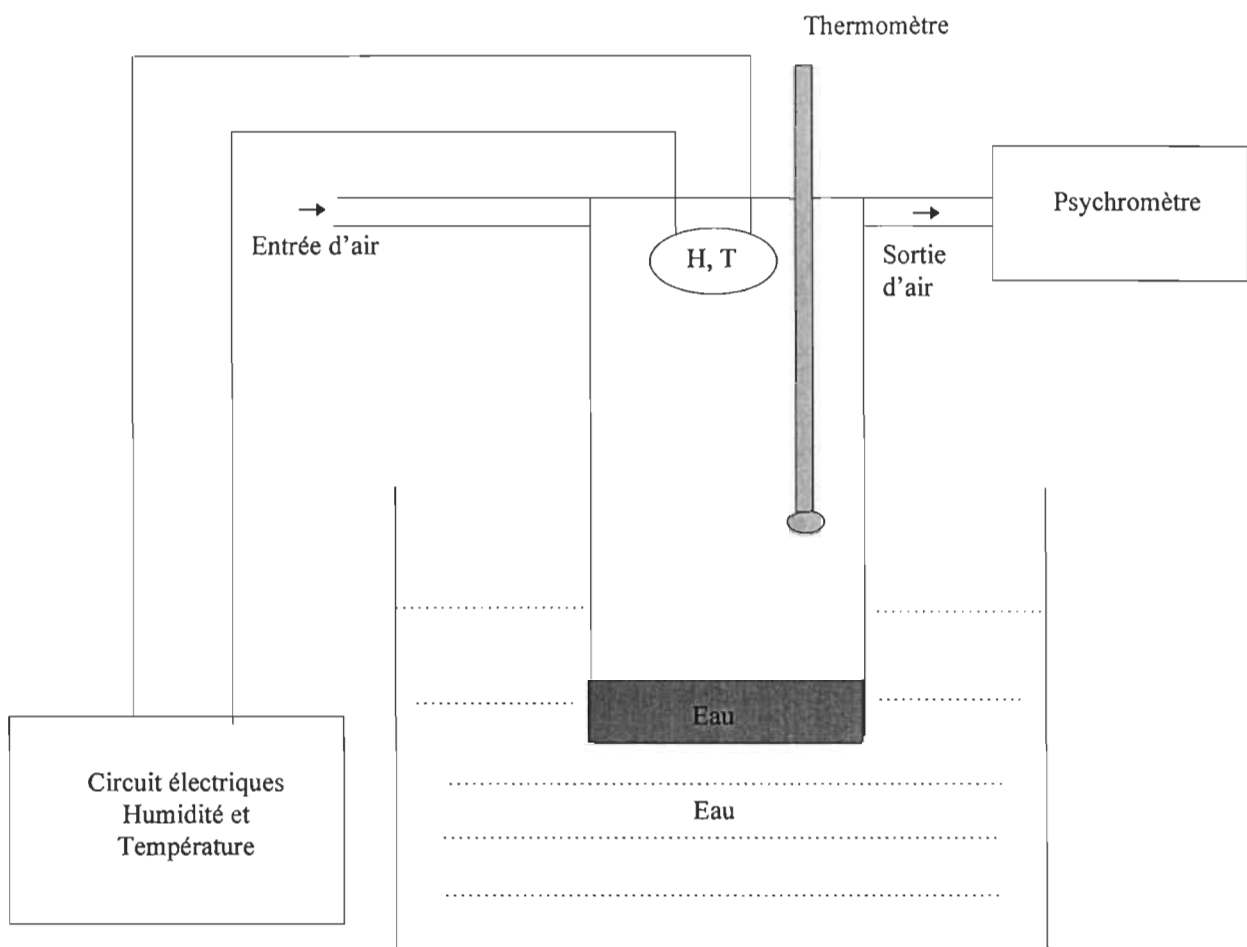


Figure 7.1 : Montage d'étalonnage du transmetteur d'humidité

La plage de variation d'humidité de 0% à 100% correspond à une variation de 0 à 5 V. Le résultat théorique de la variation de la tension en fonction de l'humidité relative est montré dans le tableau 7.1 suivant:

Tableau 7.1

Données théoriques du capteur d'humidité

Tension Théorique (V)	Humidité théorique en (%)
1.0312	0
1.289	6.25
1.5468	12.5
1.8046	18.75
2.0624	25
2.3202	31.25
2.578	37.5
2.8358	43.75
3.0936	50
3.3514	56.25
3.6092	62.5
3.867	68.75
4.12	75.5
4.3826	81.25
4.6404	87.5
4.8982	93.75
5.156	100

Les données expérimentales obtenues sont montrés dans le tableau 7.2 suivant :

Tableau 7.2

Données expérimentales du capteur d'humidité

Tension expérimentale (V)	Humidité expérimentale (%)
1.031	0
1.934	20
3.16	57
4.3	80
5.156	100

La figure 7.2 suivante montre les résultats théoriques et expérimentales de la sortie analogique du capteur d'humidité relative

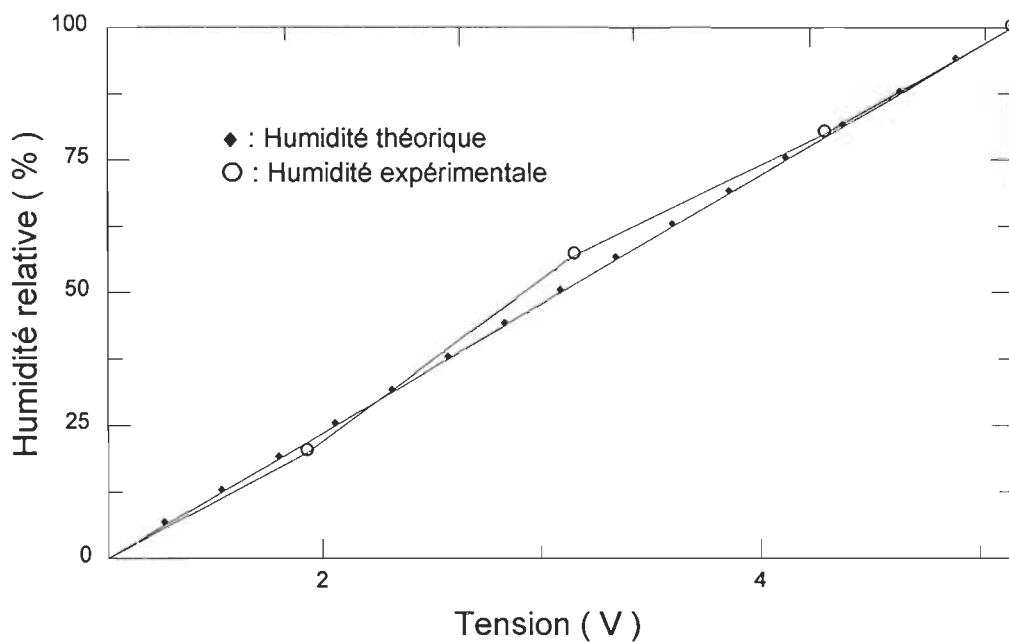


Figure 7.2 : Courbe d'étalonnage du détecteur d'humidité

La courbe d'étalonnage est présentée par la fonction

$$HR = -25 + 24.244 V_H \quad (7.1)$$

7.2.2 Capteur de température

Les capteurs de températures ont été étalonnés dans un four à température contrôlée. La précision du thermomètre de référence est de ± 0.5 °C. Le principe du transmetteur de température est une résistance qui change de valeur en fonction de la température ambiante. Ce circuit permet de convertir la variation de la résistance RTD en tension. Plusieurs tentatives et configurations de circuit de conditionnement ont été élaborées et testées pour avoir une bonne stabilité et précision des lectures. Le circuit final de conditionnement de ce transmetteur est donné dans la figure 6.4 du chapitre précédent. Le capteur de température est linéaire à 2.8% près et sa stabilité est de 50 mV/°C. La courbe d'étalonnage du capteur de température est montrée dans la figure 7.3 est traduite par la fonction :

$$T^\circ = -25.511 + 24.701 V_t \quad (7.2)$$

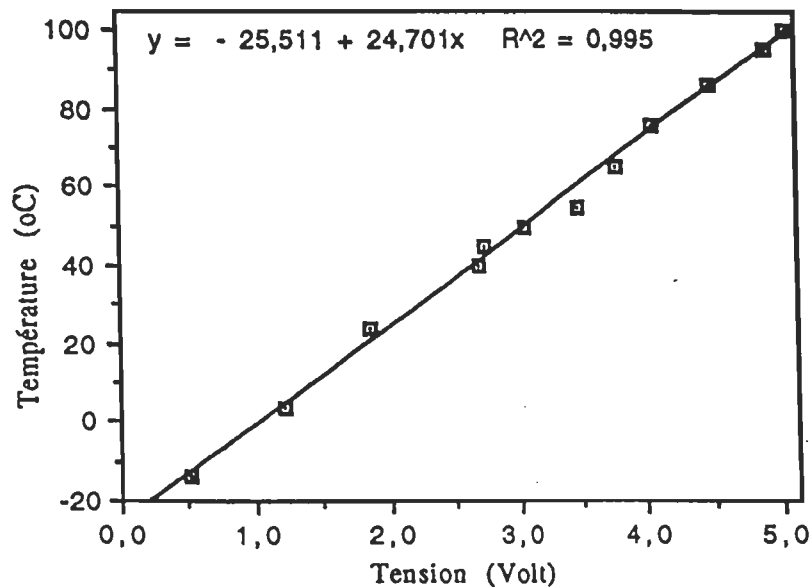


Figure 7.3 Courbe d'étalonnage du capteur de température.

7.2.3 Conditionneur de styrène

Le circuit de conditionnement du capteur du styrène est donné dans la figure 6.4 du chapitre précédent. La courbe d'étalonnage du capteur de styrène a été ramenée à une fonction du deuxième ordre dont l'équation est :

$$C = 5.78 V_s^2 + 32.84 V_s - 7.187 \quad (7.3)$$

Cette fonction nous permet de réduire la place mémoire que prend la programmation dans l'EEPROM du microcontrôleur, et d'augmenter la vitesse

d'exécution. La sensibilité du capteur de styrène est de 16.6 mV/ppm et sa précision de mesure est de 2%. La plage de concentration détectable pour le capteur est de 6 à 300 ppm.

Le conditionneur de styrène étant constitué que d'une amplification d'un signal, le réglage du zéro devient très important et doit être ajusté régulièrement. Un mauvais réglage peut occasionner des fluctuations sur la ligne de détection. De plus il est normal que l'instrument lise entre 0 et 10 ppm dans le cas d'une légère détection de vapeur de styrène autour de zéro.

7.2.4 Conditionneur de pression

Le détecteur de pression modèle ST2030G1 de SENSYS donne une pression relative de 0 à 30 PSI. Au lieu de faire correspondre 0 volt à 0 PSI, nous avons modifié cette référence à 0.8 volt, ceci permet de faire des saisies en dessous de la pression atmosphérique. Le schéma du conditionneur de pression est donné dans la figure 6.4 du chapitre précédent. Sa courbe d'étalonnage est présentée dans la figure 7.4. Pour des raisons liées aux tests effectués au laboratoire, nous avons supposé la pression atmosphérique égale à 1 atmosphère et convertie la pression relative en pression absolue. Cette nouvelle courbe d'étalonnage est donnée dans la figure 7.5. Le capteur de pression est précis à 1.8% et sa sensibilité est de 0.17 V/ PSI.

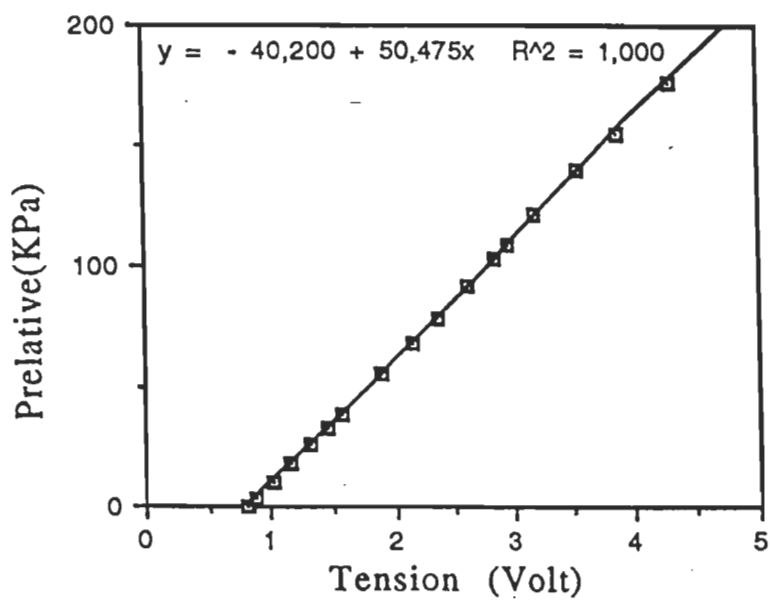


Figure 7.4 Courbe d'étalonnage du capteur de pression relative

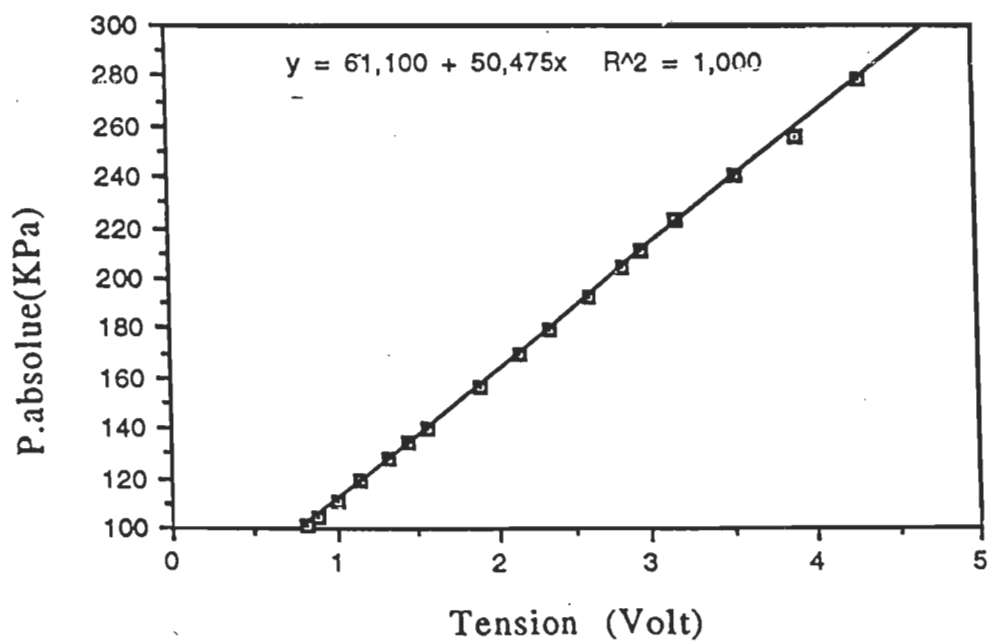


Figure 7.5 Courbe d'étalonnage du capteur de pression absolue

7.3 Simulations des grandeurs physiques des détecteurs

Afin de mieux contrôler les perturbations liées aux détecteurs et aux longueurs des câbles, les premières expériences ont consisté à tester séparément les blocs capteurs. Au début, nous avons réalisé une série de tests à chaque capteur individuellement pour voir et valider la réponse de l'exactitude des données affichées. Cette étape nous a permis de faire un ajustement final des capteurs et surtout de vérifier et valider le protocole de communication.

En premier lieu nous avons eu beaucoup de difficulté à avoir des lectures stables dû aux bruits de transmission principalement causé par un manque de blindage des câbles de communication. Mais après avoir fait les corrections nécessaires nous avons obtenu des résultats assez stables et nous avons testé chaque capteur individuellement.

En deuxième lieu, nous avons réalisé des petites sources de tension qui attaquent séparément les entrées analogiques des différents conditionneurs, ceci dans le but d'une validation finale du système de communication et de l'acquisition de données.

La figure 7.6 représente les acquisitions du bloc capteur, désigné par Bloc 2, lorsqu'on maintient à 3.2 Volts les sorties des différents conditionneurs. La durée de l'expérience est de 2h15 mn avec un taux d'acquisition d'une lecture par minute. Les courbes sont constantes et précises à moins de 2%. Les échelles des ordonnées étant flexibles certaines courbes semblent être changeantes alors qu'elles présentent des variations très faibles. Le résultat est satisfaisant et les lectures semblent être stables et ne présentent pas de fluctuation anormale.

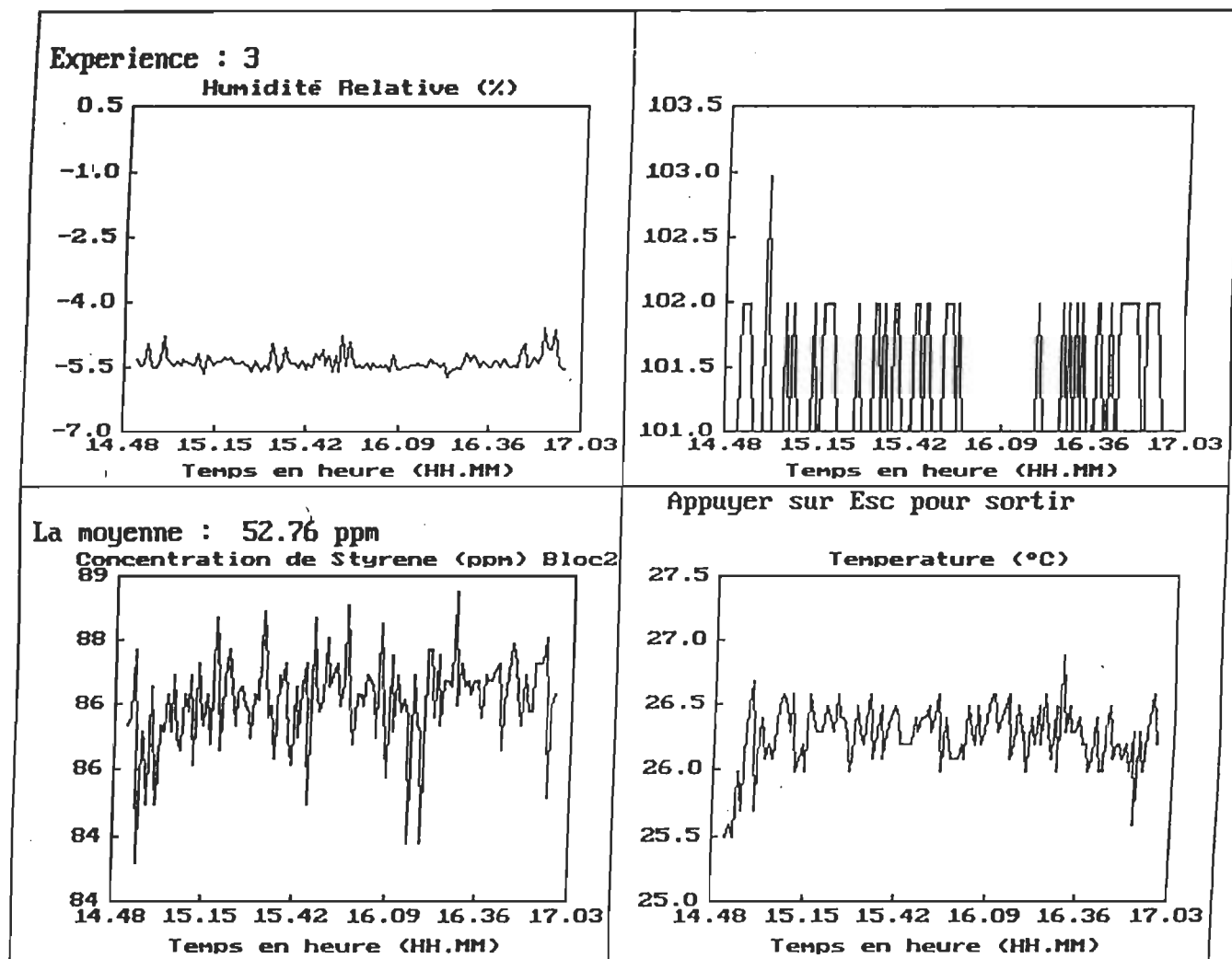


Figure 7.6 Résultats et affichage des acquisitions des données du capteur bloc 2

7.4 Tests expérimentaux

Pour réaliser les tests expérimentaux, nous avons réalisé un dispositif permettant de contrôler et de varier les différents paramètres individuellement. Le but est de voir la réaction des composantes du module intelligent de styrène, de valider et vérifier les lectures et les fonctions des capteurs, et de s'assurer de l'intégrité de tout le système et sa fonctionnalité comme une unité indépendante et en réseau. Le schéma de toutes les composantes du dispositif expérimental est montré à la figure 7.7.

Le dispositif comprend le bloc 2 qui est dans une cloche (chambre C), cette dernière est un tube cylindrique en acier inoxydable immergé dans un bain thermostaté. À l'intérieur de la chambre on trouve le détecteur de température, le détecteur de pression, le détecteur d'humidité et le détecteur de styrène. La chambre est fermée hermétiquement par un couvercle qui assure une étanchéité totale même sous des pressions assez élevée. Une série de valves montée sur le couvercle de la chambre permet de varier la pression dans la chambre et de purger lorsque nécessaire. Une de ces valves est reliée à une jauge de pression à mercure permettant la lecture et la vérification de la pression. Également sur le dessus du couvercle, on a prévu une ouverture scellée avec une membrane en caoutchouc. Via cette membrane, on peut injecter avec une seringue une quantité bien déterminée de styrène pour varier la concentration à l'intérieur de la chambre.

Une ligne de câble multibrins de 7 mètres de longueur est utilisée pour relier les détecteurs dans la chambre aux circuits électroniques qui se situent dans une pièce voisine. Pour assurer l'homogénéité de l'atmosphère dans la chambre, on a installé un moteur à vitesse contrôlée pour circuler l'air à l'intérieur. Le bain est chauffé par des éléments électriques à température contrôlée situés à des différents endroits. Pour permettre une température uniforme dans le bain, nous avons installé une pompe qui a pour rôle de circuler l'eau à l'intérieur du bassin, et recouvert ce dernier par des plaques isolantes .

Pour valider le protocole de communication et s'assurer de la bonne fonctionnalité de l'émission et de la réception des données, on a utilisé un autre bloc appelé Bloc 1, qui est installé à l'extérieur de la chambre. Le bloc 1 a pour rôle d'envoyer des données des lectures acquises, pour simuler la variation des conditions environnementales, on a intervenu directement sur les entrées de tensions des différents capteurs pour simuler et varier les grandeurs physiques.

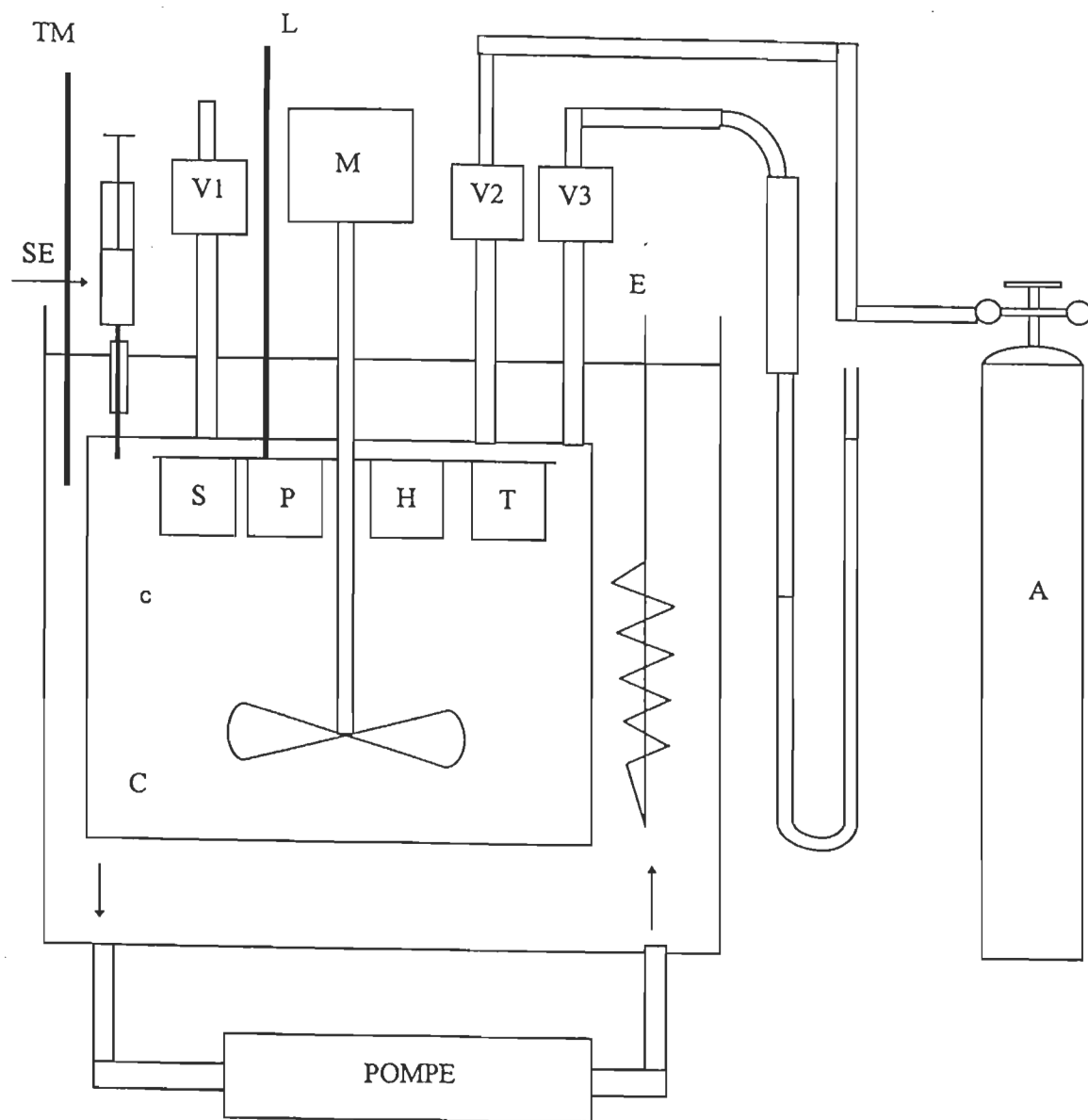


Figure 7.7 Schéma du dispositif expérimental

A : Réservoir d'air

V1 : Valve de purge de l'air

V2 : Valve de contrôle de la pression

V3 : Valve du jauge de pression

SE : Seringue pour injection du styrène liquide

M : Moteur

S : Capteur de styrène

P : Capteur de pression

H : Capteur d'humidité

T : Capteur de température

E : Élément chauffant

L : Câble de transmission entre le bloc capteurs et l'ordinateur

TM : Thermomètre

C : Chambre à atmosphère contrôlée

Le premier test préliminaire a consisté à prendre des lectures des deux blocs dans l'environnement ambiant avant de mettre le bloc 2 dans la chambre, ceci dans le but de vérifier le fonctionnement du système et éliminer toute source d'erreurs ou de bruit, car l'installation du bloc 2 dans la chambre prend des longues heures de fixation et de vérification d'infiltration d'eau ou de fuite de pression.

Ce test préliminaire a duré pendant au moins deux heures, les figure 7.8 et 7.9 montrent respectivement les acquisitions des données du bloc 1 et bloc 2 durant cette période de temps. L'écran d'acquisition affiche 4 courbes identifiant les quatres variables environnementales soit l'humidité, la pression, la concentration de styrène et la température. Les échelles s'ajustent automatiquement au fur et à mesure qu'une nouvelle donnée est acquise et les lectures sont assez stables et précises à moins de 2%. Le fait que la concentration de styrène fluctue autour de zéro ppm pour le bloc 2, les lectures prélevées sont normales puisqu'on est au niveau de seuil du conditionneur de styrène. On remarque aussi pour le bloc 1 des lectures fluctuantes vu qu'on a varié la tension à l'entrée des capteurs.

La deuxième expérience a consisté à monter le bloc 2 dans la chambre, avant le démarrage des lectures on a bien vérifié l'étanchéité de la chambre et éliminé toute source de fuite d'air ou d'infiltration d'eau. Pour éliminer les vapeurs de styrène résiduel dans la chambre on a procédé à une purge, ceci consiste à ouvrir les valves 1 et 2 et faire circuler l'air pendant une longue durée, tout en vérifiant la non contamination par les lectures prélevées par le capteur de styrène. Après la fermeture de toutes les valves, on a immergé totalement la chambre dans l'eau, crée un certain vide dans la chambre, démarré le chauffage du bassin, la circulation de l'eau par la pompe et démarré l'acquisition des données.

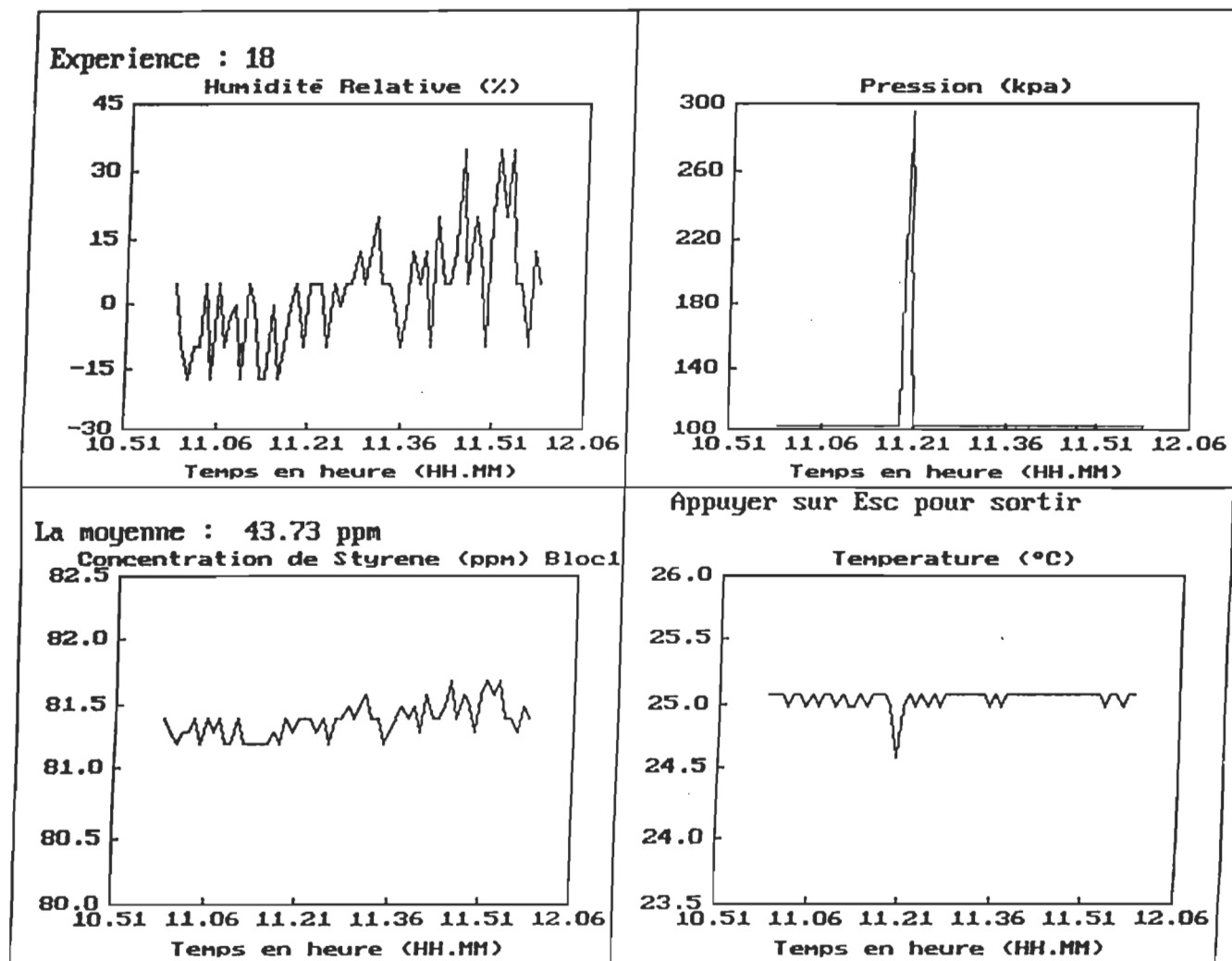


Figure 7.8 Affichage de bloc 1 dans le milieu ambiant

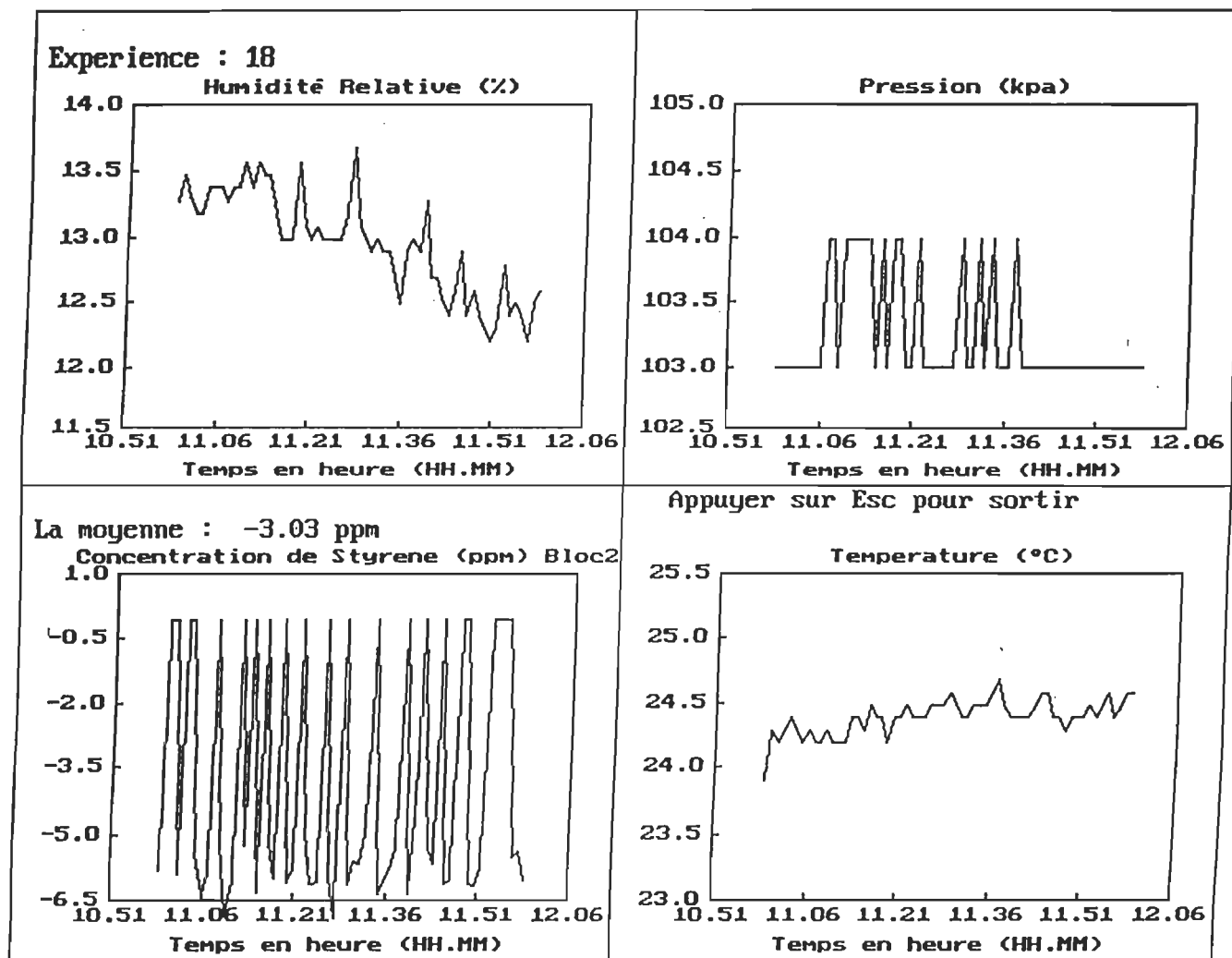


Figure 7.9 Affichage de bloc 2 dans le milieu ambiant

À ce stade-ci, il nous reste qu'à injecter du styrène liquide dans la chambre par l'intermédiaire d'une seringue via l'ouverture prévue à cet effet. L'évaporation des vapeurs de styrène dans la chambre dépend de la pression, la température et le volume liquide de styrène initiale par l'équation suivante :

$$C_s = \frac{\rho_s * V_s * R * T_c}{P_c + V_c * M_s + \rho_s * V_s * R * T_c} * 10^6 \text{ PPM} \quad (7.4)$$

Avec :

ρ_s : Densité du styrène en Kg/ml

V_s : Volume de styrène liquide injecté en ml

M_s : Poids moléculaire du styrène en Kg/Kmol.

V_c : Volume de la chambre C en m³

P_c : Pression à l'intérieur de la chambre C en KPas

T_c : Température à l'intérieur de la chambre C en °K

R : Constante des gaz parfait KPas.m³/Kmol.°K

En utilisant cette équation et connaissant les valeurs des paramètres intervenants, on peut calculer la quantité de styrène liquide à injecter dans la chambre et voir l'évolution de la concentration par l'intermédiaire du système d'acquisition.

Pour avoir une évaporation du styrène liquide, il faut créer un vide assez poussé pour permettre des lectures expérimentales, ou encore augmenter la température du bain à un niveau qui dépasse le point d'ébullition de l'eau. Nous avons opté naturellement pour créer le vide puisque le dispositif construit peut supporter une pression négative importante. L'évaporation du styrène liquide est régie par des lois qui relient la température à la pression comme indiquées dans le tableau 7.3 suivant :

Tableau 7.3
Évaporation du styrène liquide en fonction de la température et de la pression

Température en °C	Pression en mm Hg
145.2	760
122.5	400
82	100
59.8	40
30.8	10
-7	1

Les conditions initiales d'expérience ont été fixées comme suivent : température de bain de 52 °C, pression dans la chambre C 8 mm Hg et injection de 10 microlitre de styrène liquide. L'acquisition des données est déroulée sur une durée de 9 heures, les figures 7.10 à 7.15 montrent respectivement les données d'acquisition du bloc 1 à l'environnement ambiant du laboratoire et du bloc 2 dans la chambre .

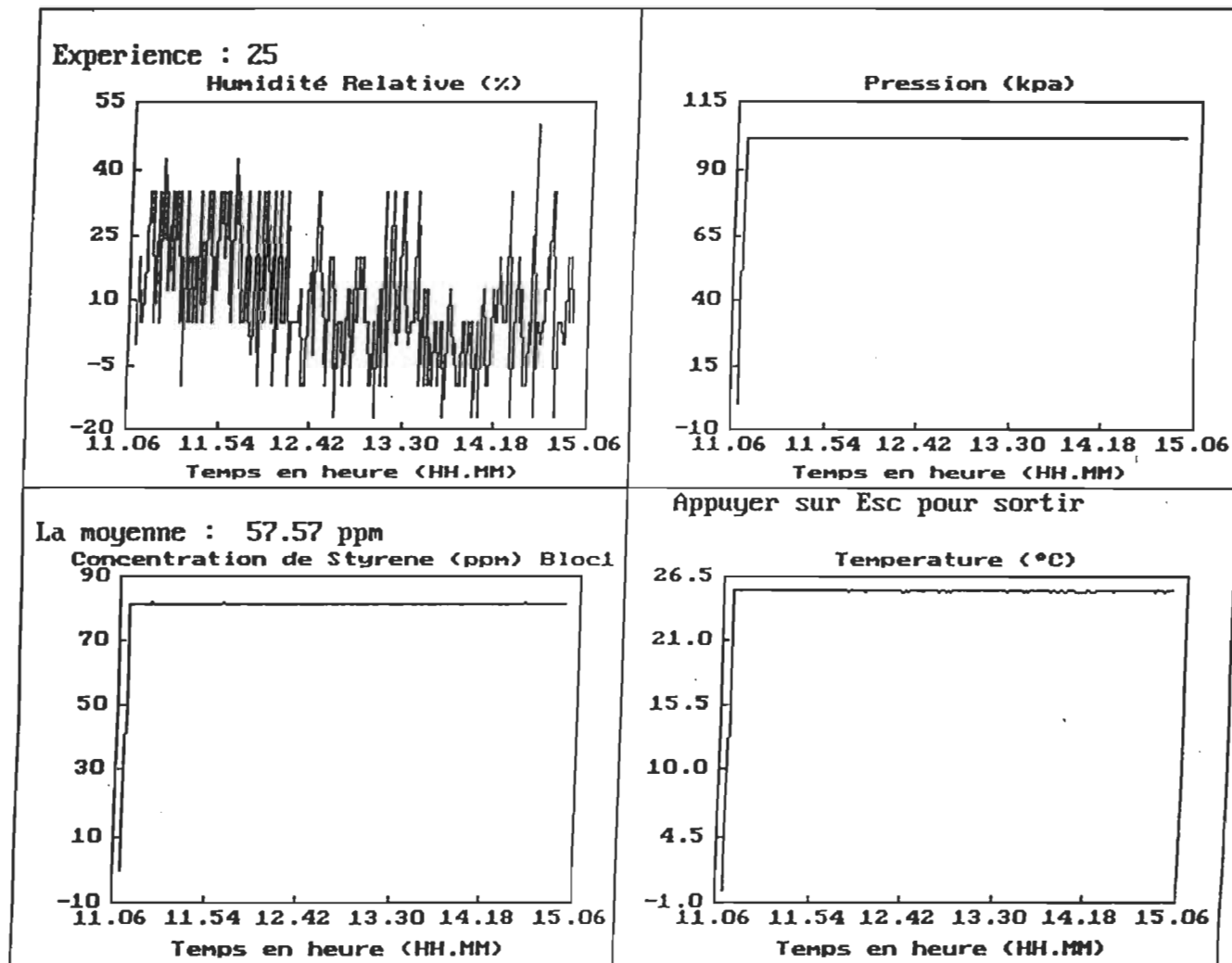


Figure 7.10 Affichage de bloc 1 dans le milieu ambiant (début)

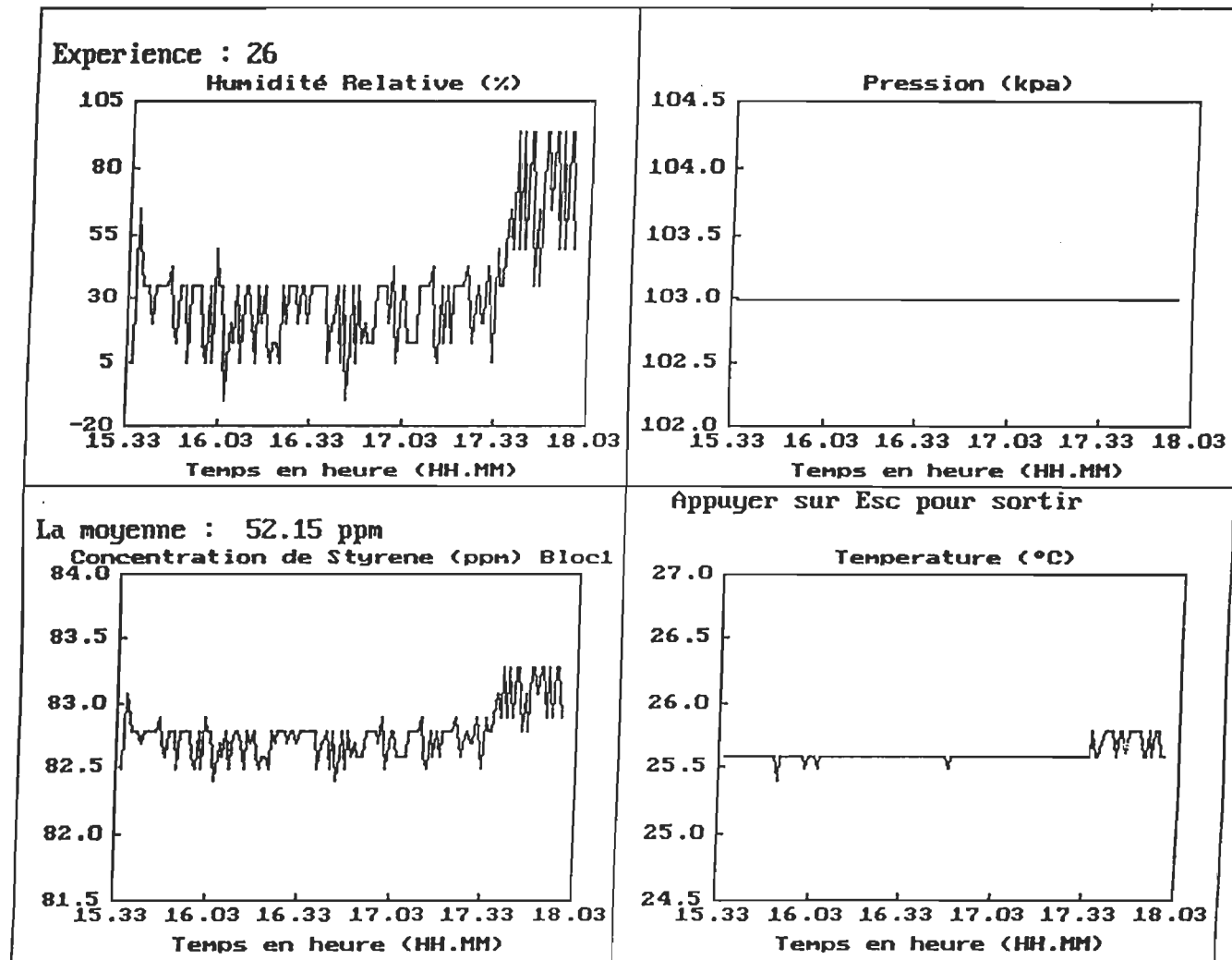


Figure 7.11 Affichage de bloc 1 dans le milieu ambiant (suite)

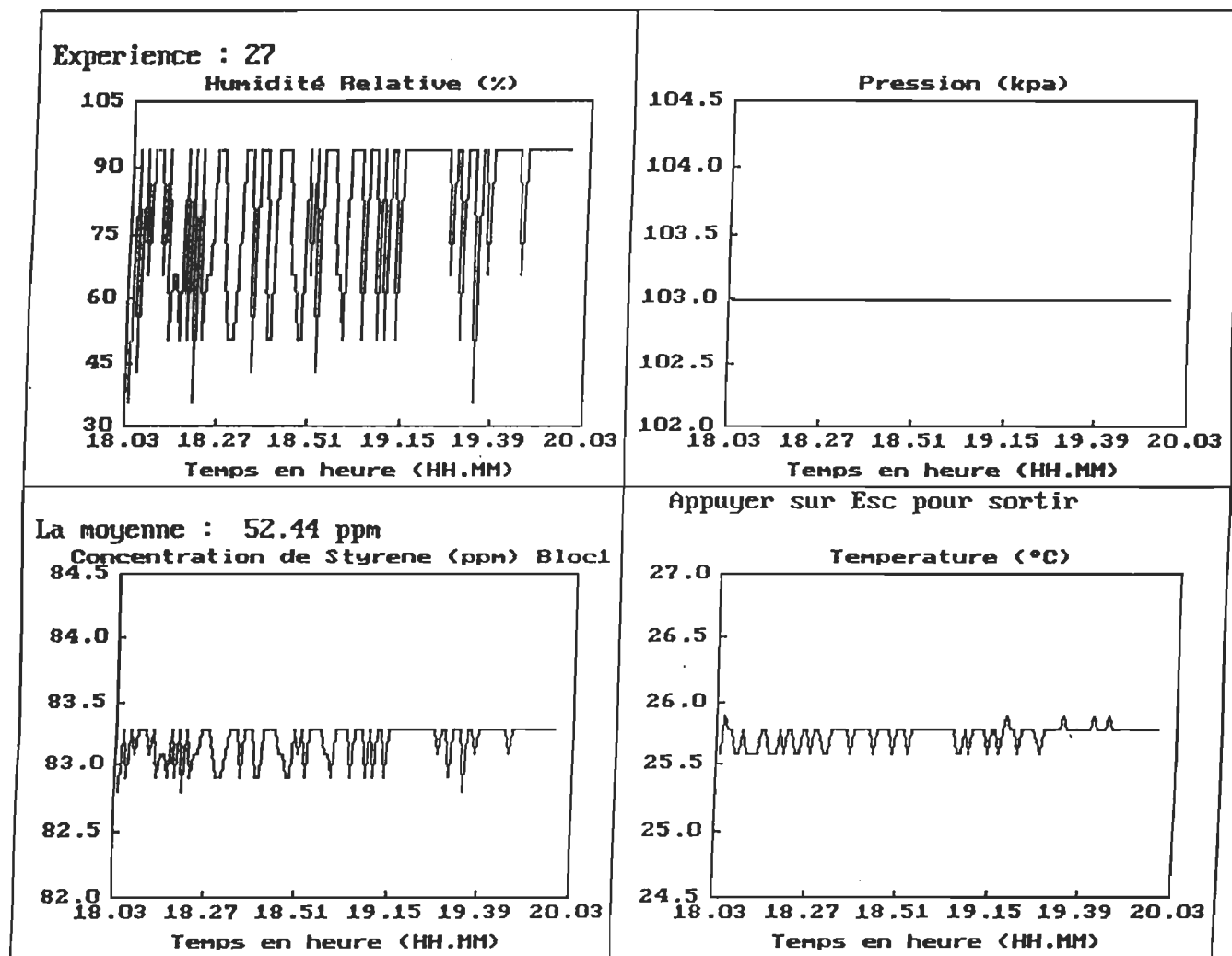


Figure 7.12 Affichage de bloc 1 dans le milieu ambiant (fin)

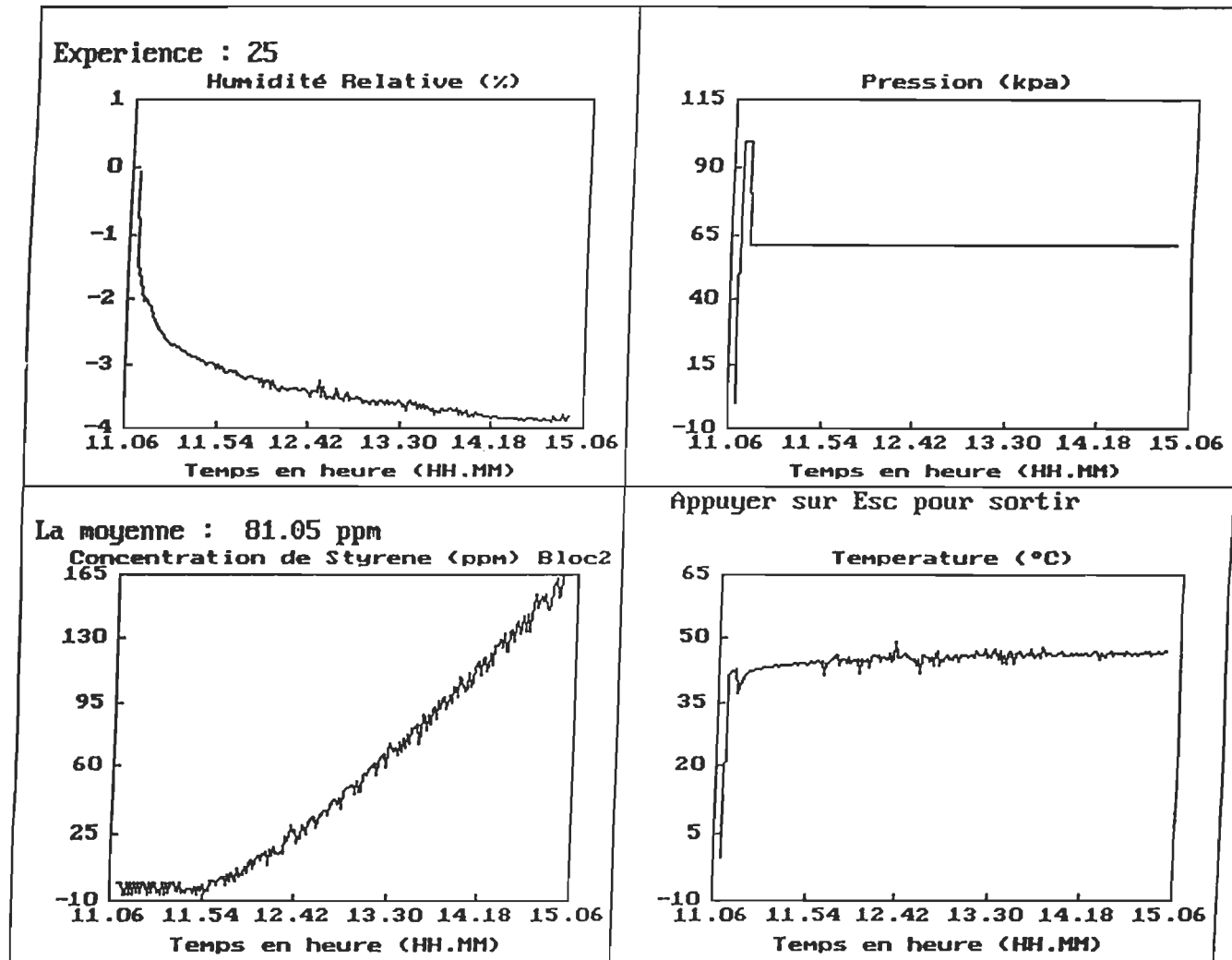


Figure 7.13 Affichage de bloc 2 dans la chambre C (début)

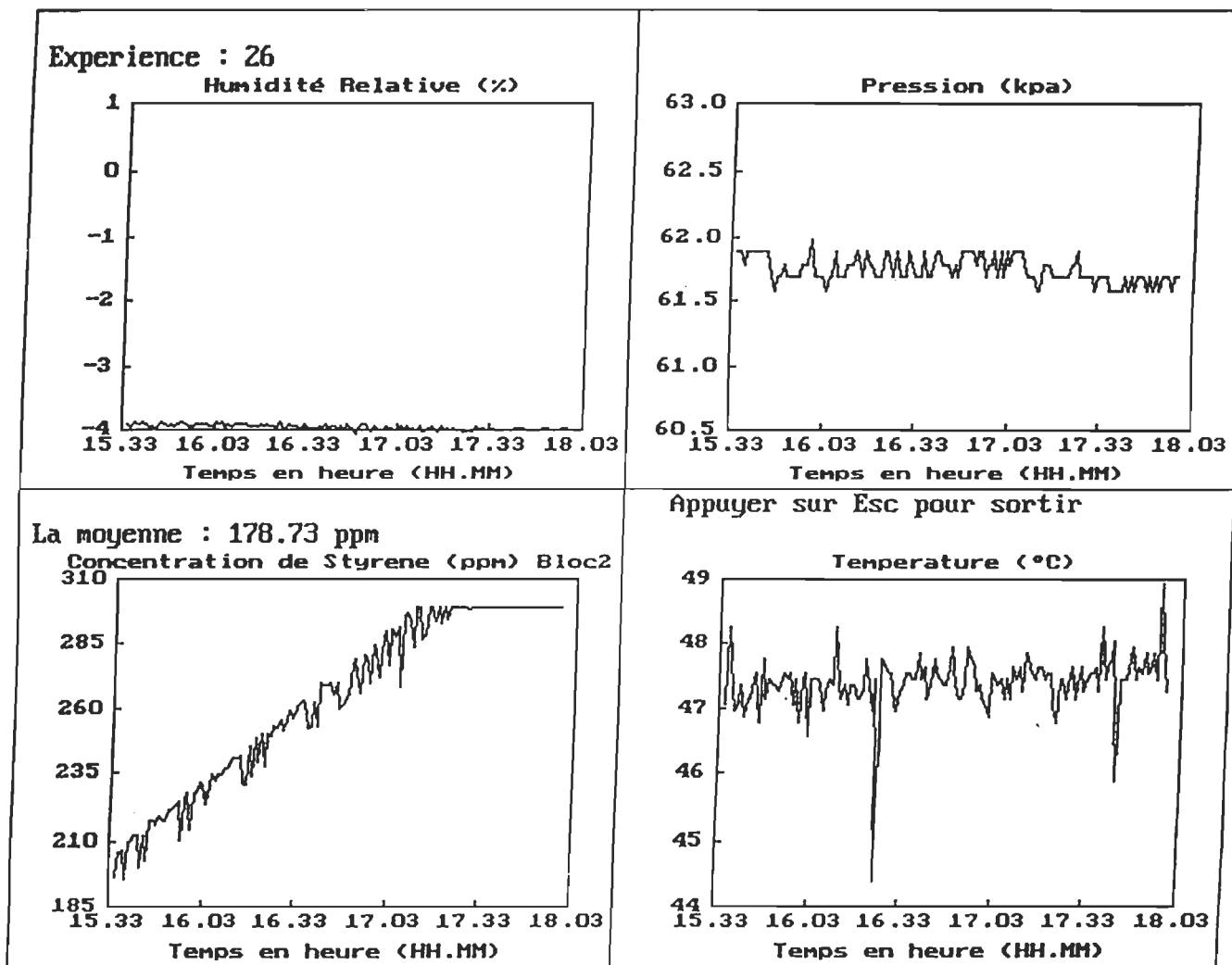


Figure 7.14 Affichage de bloc 2 dans la chambre C (suite)

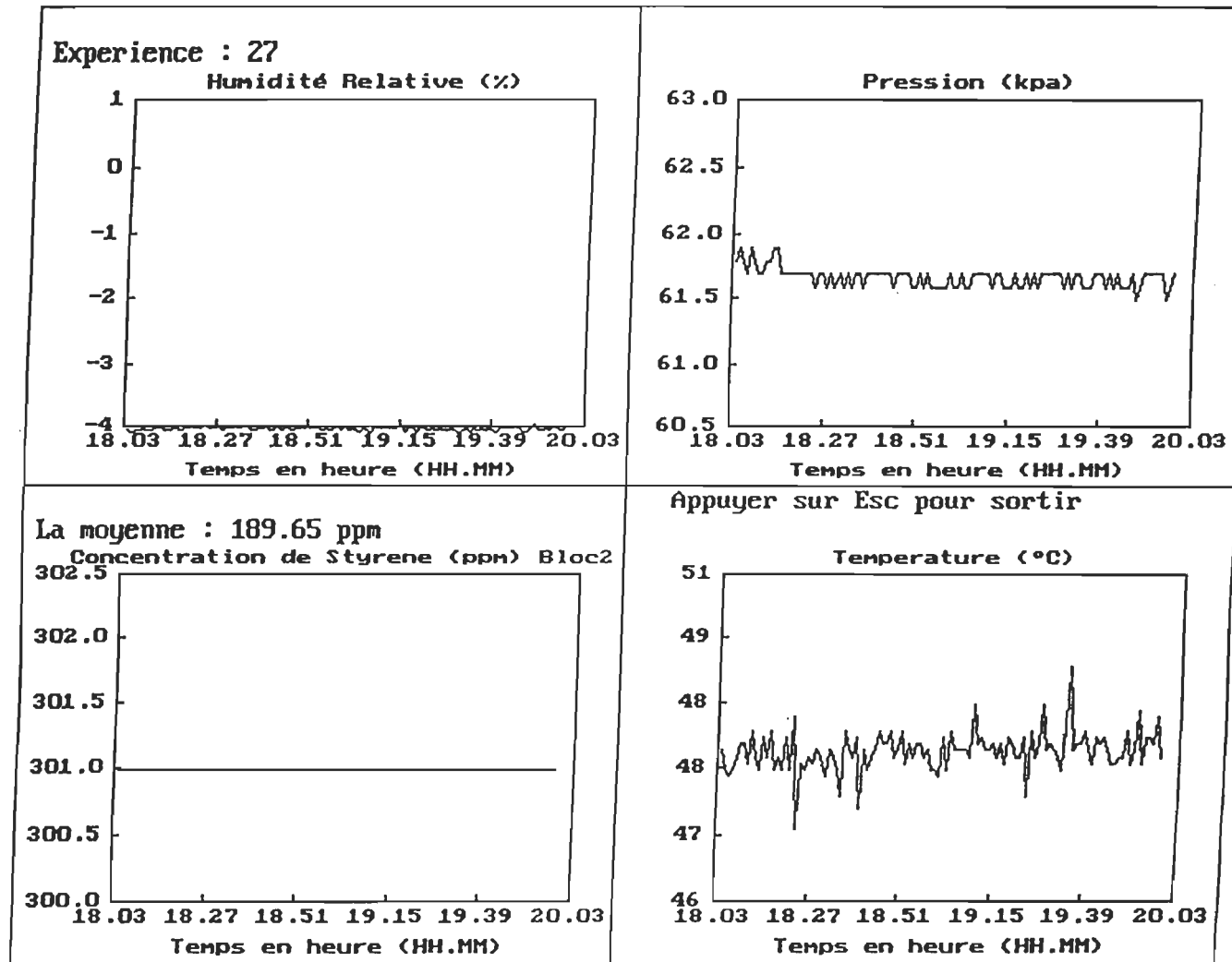


Figure 7.15 Affichage de bloc 2 dans la chambre C (fin)

7.5 Synthèse

Le bloc 1 affiche les données des paramètres environnementales du laboratoire. Les figures 7.10, 7.11 et 7.12 du bloc 1 nous montrent une stabilité intéressante pendant la durée de la saisie des données. On remarque seulement des fluctuations au niveau du capteur d'humidité, ceci est dû principalement aux manipulations pendant la durée de l'expérience et à des fluctuations liées aux boucles de masse.

Les figures 7.13, 7.14 et 7.15 montrent l'affichage des données du bloc 2 dans la chambre C. On remarque bien que l'évaporation du styrène a commencé graduellement jusqu'à la saturation à l'entour de 300 ppm et les trois figures montrent une bonne stabilité des lectures. Parallèlement à l'acquisition, nous avons vérifié la linéarité des lectures en les comparant aux valeurs affichées au galvanomètre du conditionneur, aux tensions théoriquement prévues aux bornes de chaque capteur et aux températures prélevées par le thermomètre du bassin. La précision de lecture est de l'ordre de 5%. Cette expérience a été répétée à plusieurs reprises, et les résultats obtenus sont identiques au précédents, ce qui nous donne une bonne assurance de la stabilité du système.

A bien noter que les lectures de pression affichées par le bloc 2 ne reflètent pas la pression réelle dans la chambre, car le type de capteur utilisé ne peut lire que des pressions au-dessus de la pression atmosphérique. Le conditionneur respectif a été réalisé pour des tensions positives de 0 à 5 V, ce qui n'est pas le cas lorsqu'on fait le vide dans la chambre C. Pendant certaines expériences non reportées ici, nous avons assisté à des fluctuations des lectures liées aux boucles de masse, au type de câblage au laboratoire et aux mauvais contacts.

CHAPITRE VIII

VALIDATION DU DÉTECTEUR INTELLIGENT DES VAPEURS DE STYRÈNE EN MILIEU INDUSTRIEL

Les tests dans l'usine ont été réalisés par M. Mohamed Elhiri, professionnel de recherche. Toutes les données et les courbes contenues dans le présent chapitre proviennent de son rapport (26). J'aimerais souligner ma reconnaissance et mon appréciation quant à sa contribution dans la présente étude.

8.1 Objectif

L'utilisation du détecteur intelligent des vapeurs de styrène en milieu industriel est une étape importante de valoir et valider les tests de laboratoire, et voir le comportement du système dans son milieu réel d'utilisation. La réalisation de cette étape a une portée déterminante pour l'identification des paramètres réelles de fonctionnement et des conditions d'utilisation dans les industries. Cette étape nous permettra de valider et d'évaluer le degré de difficulté liée à l'utilisation et d'identifier les problèmes de fonctionnalité. L'expérience en milieu industriel nous permettra de tester le système avec les vraies valeurs et variables réelles d'utilisation, d'évaluer le niveau d'intégration d'un tel système dans l'industrie et

finalement identifier toute source ou paramètre qui peut nous aider à améliorer le système au point de vue utilisation, installation et fiabilité.

8.2 Préparation et montage du prototype industriel

8.2.1 Amélioration matériel

Pour effectuer des tests au milieu industriel, la fabrication d'un prototype résistant à l'environnement industriel s'impose. Pour cela beaucoup d'amélioration a été apportée au modèle initial utilisé pendant les tests au laboratoire. Ces améliorations se traduisent par :

- * L'ajout des circuits de protection au court-circuit;
- * La conception sur carte imprimée des circuits de conditionnement pour l'élimination de tous les problèmes analogiques, de mauvais contact et du câblage rencontrés lors des expériences au laboratoire;
- * L'utilisation des fils blindés pour les interconnexions entre les capteurs, les circuits de conditionnement et l'alimentation pour régler les problèmes des pics et des bruits au niveau des mesures;

* Montage des circuits du microcontrôleur, des circuits de conditionnement et d'alimentation dans un boîtier indépendant et montage des transducteurs dans un autre boîtier conçu pour donner une bonne protection et permettant le déplacement et la transportation d'une façon sécuritaire sans affecter sa fiabilité .

8.2.2 Amélioration logicielle

Dans l'industrie la simplicité de l'interface de commande, la visualisation graphique, la facilité d'utilisation et l'accessibilité pour des opérateurs de différent niveau jouent souvent un grand rôle dans le choix et la sélection d'un système donné. Pour cela l'option d'utilisation du logiciel LABVIEW a été adoptée, vu que ce logiciel offre des outils très intéressants pour l'acquisition et la visualisations des données sous forme de graphiques.

Un programme a été développé à partir des routines déjà fournies dans les librairies de LABVIEW. L'exploitation de cette routine a permis l'analyse, le traitement et l'enregistrement des données d'une façon plus efficace et plus précise. En ce qui concerne la présentation des résultats et l'interface utilisateur la fenêtre FRONT PANNEL a été utilisée à cet effet pour offrir à l'utilisateur un moyen simple et facile pour l'affichage la présentation et l'interprétation des résultats.

Principalement, le développement du programme d'acquisition des données est basé sur quatre routines principal une routine d'initialisation, une routine d'écriture, une routine de lecture et une routine d'enregistrement des données. L'annexe 2 du présent document donne une explication plus approfondie de chaque routines et les schémas du circuit imprimé.

8.3 Tests dans l'usine

Nous avons contacté plusieurs usines qui oeuvrent dans le domaine des fibres de verre. Les trois usines ont été retenues pour la validation du détecteur intelligent des vapeurs de styrène :

- * Fibres Mauricie: située au Cap-de-la-Madeleine, cette usine fabrique des produits en fibre de verre, elle se spécialise dans la fabrication des moules et des produits sur mesure de petite taille.

- * Les Entreprises Levesque et Renières : située à Louiseville, cette usine fabriques des pièces en plastiques, elle se spécialise dans l'injection des pièces en plastiques de petites taille et moyenne taille. Parmi ses produits, on trouve les jouets, les contenants en plastiques et des pièces sur mesure pour different clients.

- * Fibres Prestige Inc : située à Lyster, cette usine fabrique des produits en fibre de verre et se spécialisé dans la fabrication des boîtes arrières pour les camions et des petites remorques fermées pour le Ski-Doo et les 4 roues.

Pour chaque entreprise, nous avons effectué des visites pour prendre les informations caractérisant les activités à l'intérieur de l'usine. Notre choix de priorité s'est arrêté sur Fibre Prestige, vu que cette entreprise produit continuellement des produits intervenant l'utilisation des produits incluant le styrène.

8.3.1 Présentation de l'entreprise

Comme déjà mentionné cette entreprise fabrique des produits exclusivement en fibre de verre. Dans ce type d'entreprise, le dégagement des vapeurs de styrène est présent presque pendant toutes les phases de production. Les plus importantes opérations où il y a un fort dégagement des vapeurs de styrène sont pendant l'application du Gel Coat et pendant le laminage. Le processus de fabrication d'un produit type passe par plusieurs départements ou poste. Chaque produit passe par trois principales départements, soit la préparation du moule (application du Gel Coat), le laminage (application de la résine en couche successive et extraction des bulles d'air) et finalement le taillage (montage et assemblage).

En premier lieu, nous avons procédé à dessiner les limites physiques de l'usine et identifier tous les départements et les postes de travail. Le maillage de l'entreprise est une étape importante pour pouvoir localiser et relier les

concentrations prélevées en fonction de la nature de l'opération. Ceci nous permettra de localiser les places qui présentent une forte concentration des vapeurs de styrènes et d'identifier les zones à risques à surveiller de très près. Nous avons aussi situer les bouches d'aération ainsi que le système de ventilation de l'entreprise. Bien qu'un système centrale de ventilations soit inexistant, on trouve dans la chambre de laminage et de peinture deux ventilateurs actionnés manuellement pour évacuer l'air à l'extérieur de la bâtisse. La figure 8.1 présente le plan général de l'entreprise et l'identification de chaque poste de travail dans l'usine.

Quadrillage de l'usine de Fibres Prestiges Inc.

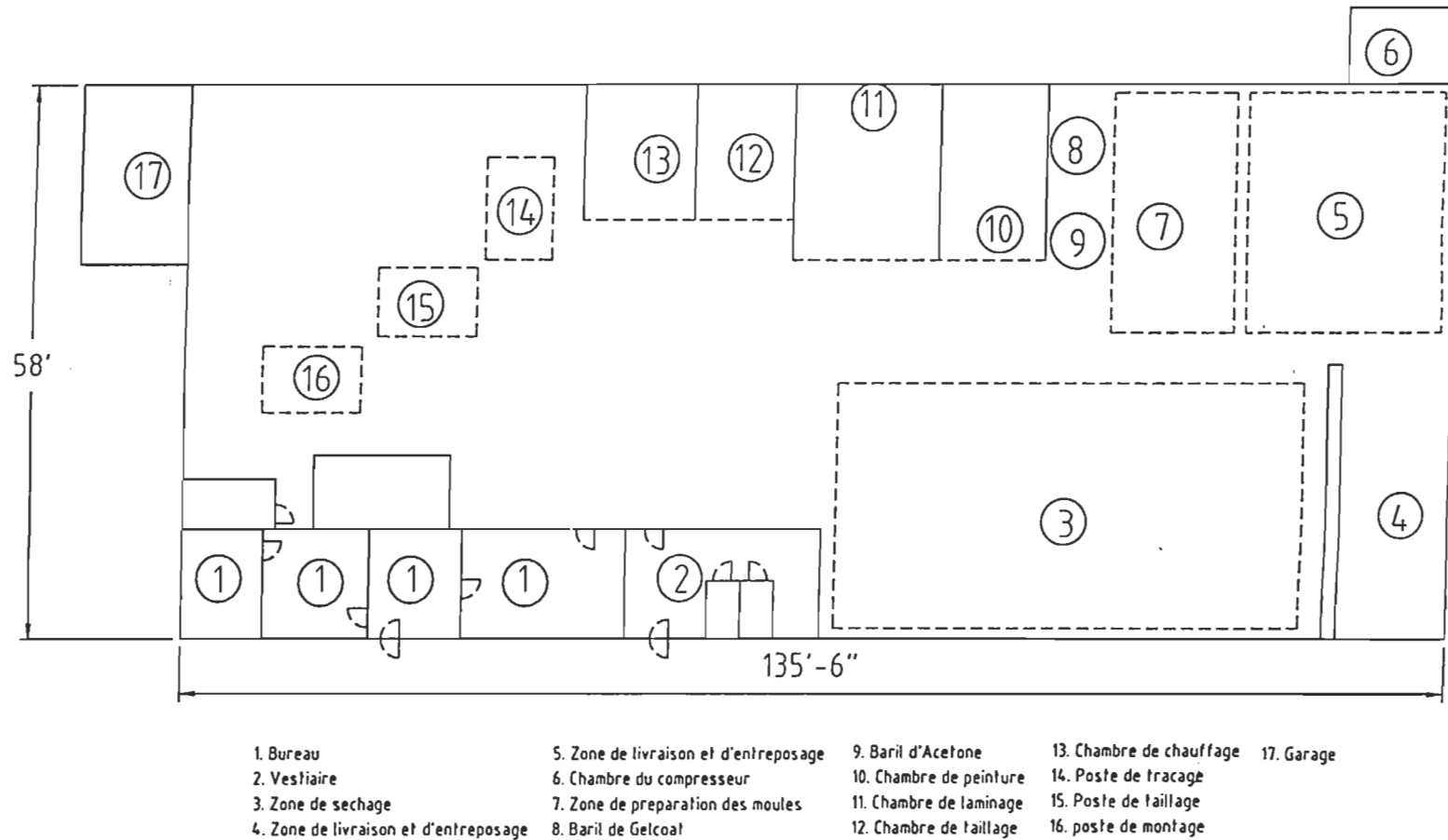


Figure 8.1 Plan de maillage de l'entreprise Fibre Prestige

8.3.2 Procédure et résultats des tests

Les tests se sont déroulés sur une période de 10 jours. Le système d'acquisition a été placé dans un bureau à l'intérieur de l'usine et la procédure consiste à déplacer le boîtier des transducteurs dans différents points de l'usine et à différentes hauteurs. La figure 8.2 montre l'identification des points où on a placé le détecteur intelligent des vapeurs de styrène. En premier lieu, une calibration du système a été effectuée à l'extérieur de l'usine où la concentration des vapeurs de styrène est nulle. Ceci dans le but de vérifier le fonctionnement du système après installation. À ce même endroit et dans chaque point de positionnement de bloc transducteur dans l'usine, un échantillon de l'air a été prélevé pour l'analyser ultérieurement dans notre laboratoire par chromatographie en phase gazeuse. Ceci dans le but de se doter d'un moyen de comparaison pour analyser les données acquises par le système, d'évaluer l'exactitude des résultats obtenus et finalement de voir le niveau de sélectivité du transducteur de styrène. Les points de placement du détecteur intelligent des vapeurs de styrène ont été choisis de telle façon de couvrir la totalité de l'usine et voir l'influence de la nature de l'opération sur la concentration des vapeurs de styrène dans l'environnement de l'usine.

Les pages suivantes montrent les résultats des données saisies en fonction de la position du bloc transducteur et de la nature de l'opération de production en

cours. Ces tests se divisent en trois parties en fonction de la concentration des activités pendant une période de temps.

Chaque étape décrit la durée des tests, les opérations effectuées et l'identification des positions du détecteur intelligent des vapeurs de styrène. Cette identification inclut la position par rapport au système de coordonnées fixe sur la figure 8.2, la description des activités en cours, l'état de l'environnement, l'heure du début et la fin des acquisitions des données . En fin de chaque étape suit les graphiques de concentration détaillés avec de différentes échelles de temps pour une meilleure visualisation en fonction des paramètres inscrits.

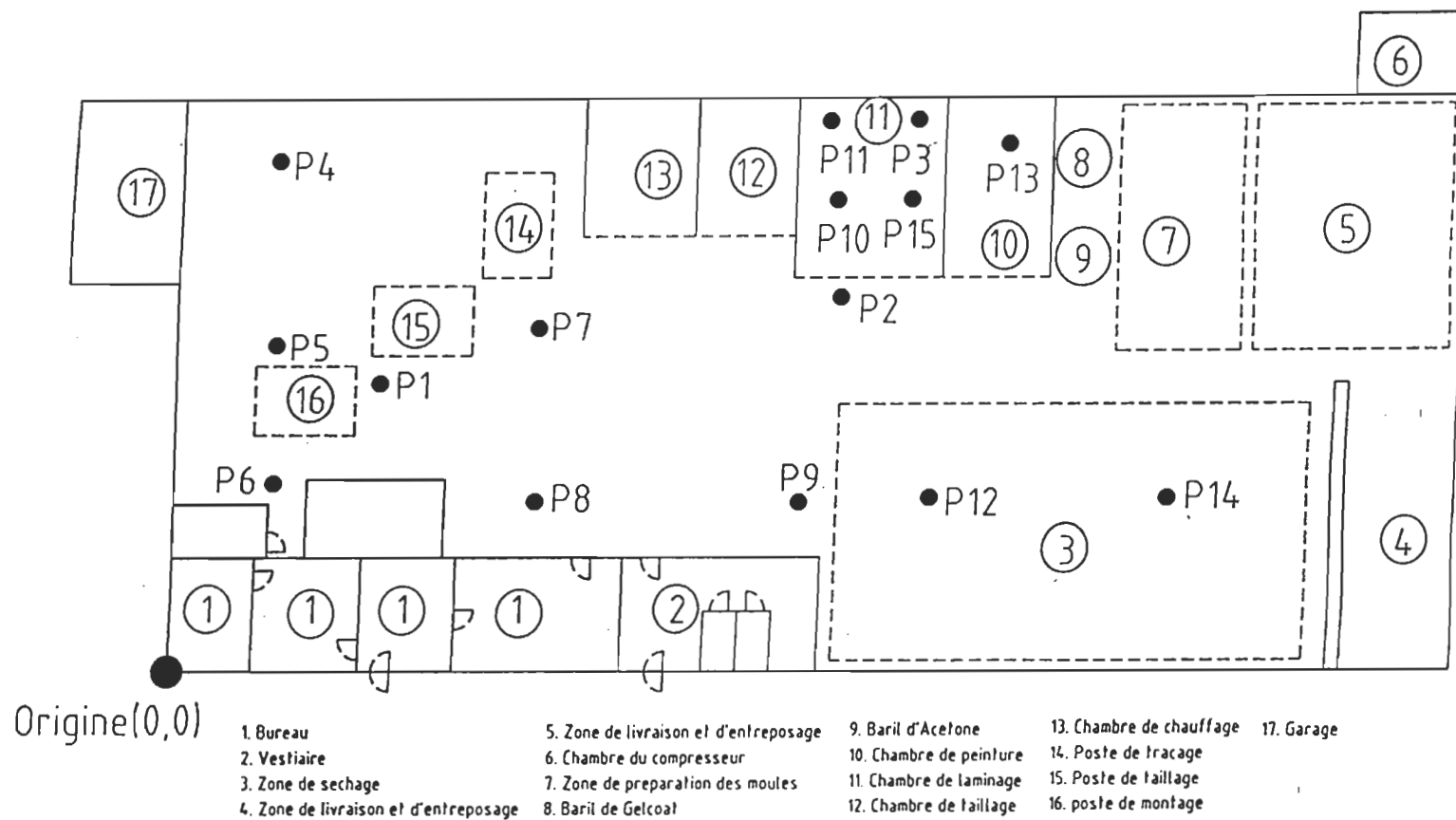


Figure 8.2 Plan de localisation des points de positionnement du détecteur intelligent des vapeurs de styrène

Partie I

Cette étape fait référence à une durée de trois jours d'acquisition de donnée qui se sont réalisées aux trois points P1 à P3. Pendant ce premier jour (figure 8.3), on a assisté à des différentes opérations de projection de fibre, de laminage, de taillage et de montage (figure 8.4). Cette étape inclut presque toutes les opérations majeures qui font partie du processus de fabrication standard de l'usine.

Point d'opération P1 (jour 1)

Coordonnée de positionnement P(x,y,z)	(22'.10, 15'.5, 10')
Début de test	14 H 00
Fin de test	14 H 25
Environnement et opérations	<ul style="list-style-type: none">* Le bloc transducteur est localisé entre le poste de montage et de taillage* Pas de ventilation* Aucune activité en cours

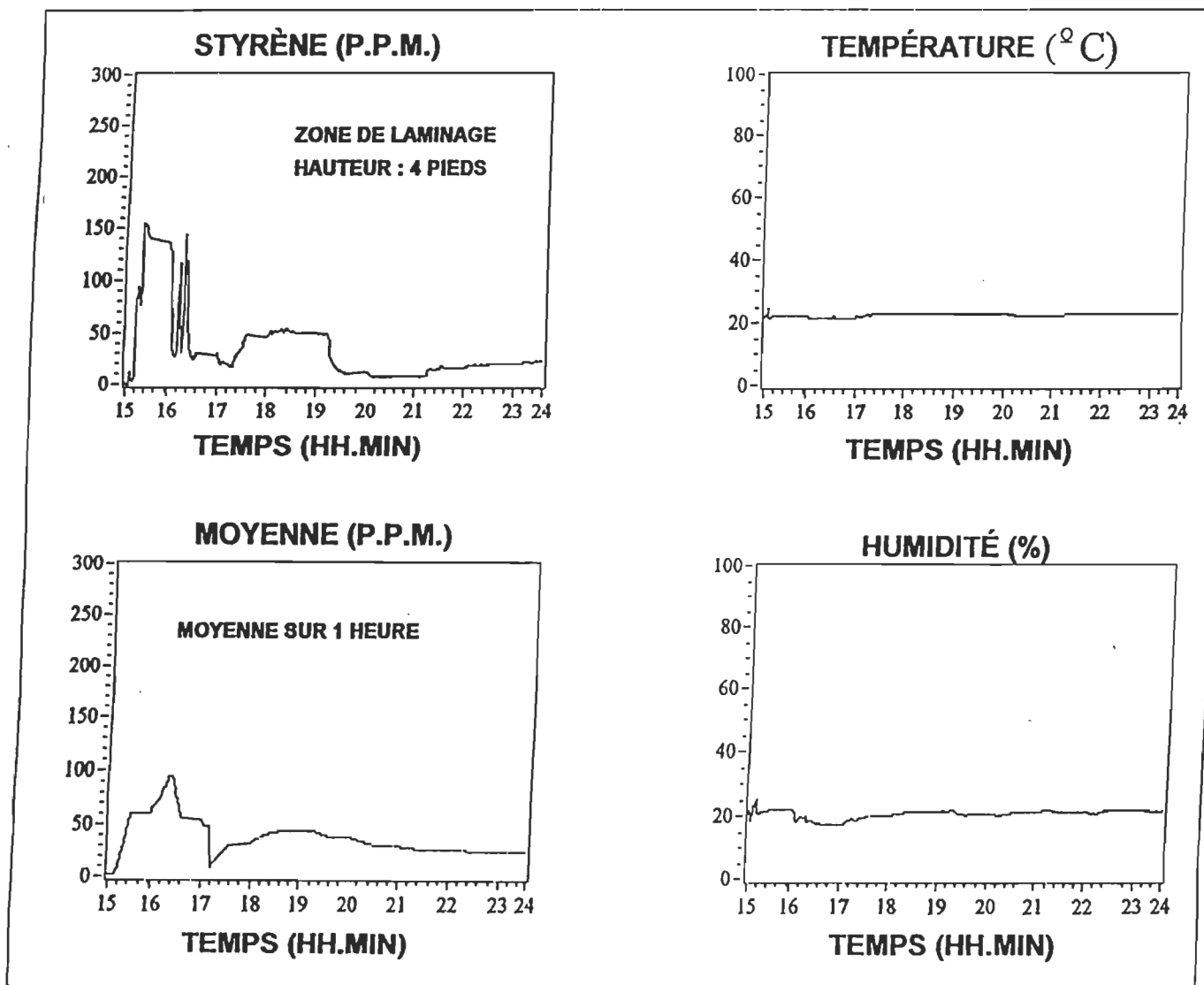


Figure 8.3 Écran d'affichage, P1, P2 et P3 (jour 1)

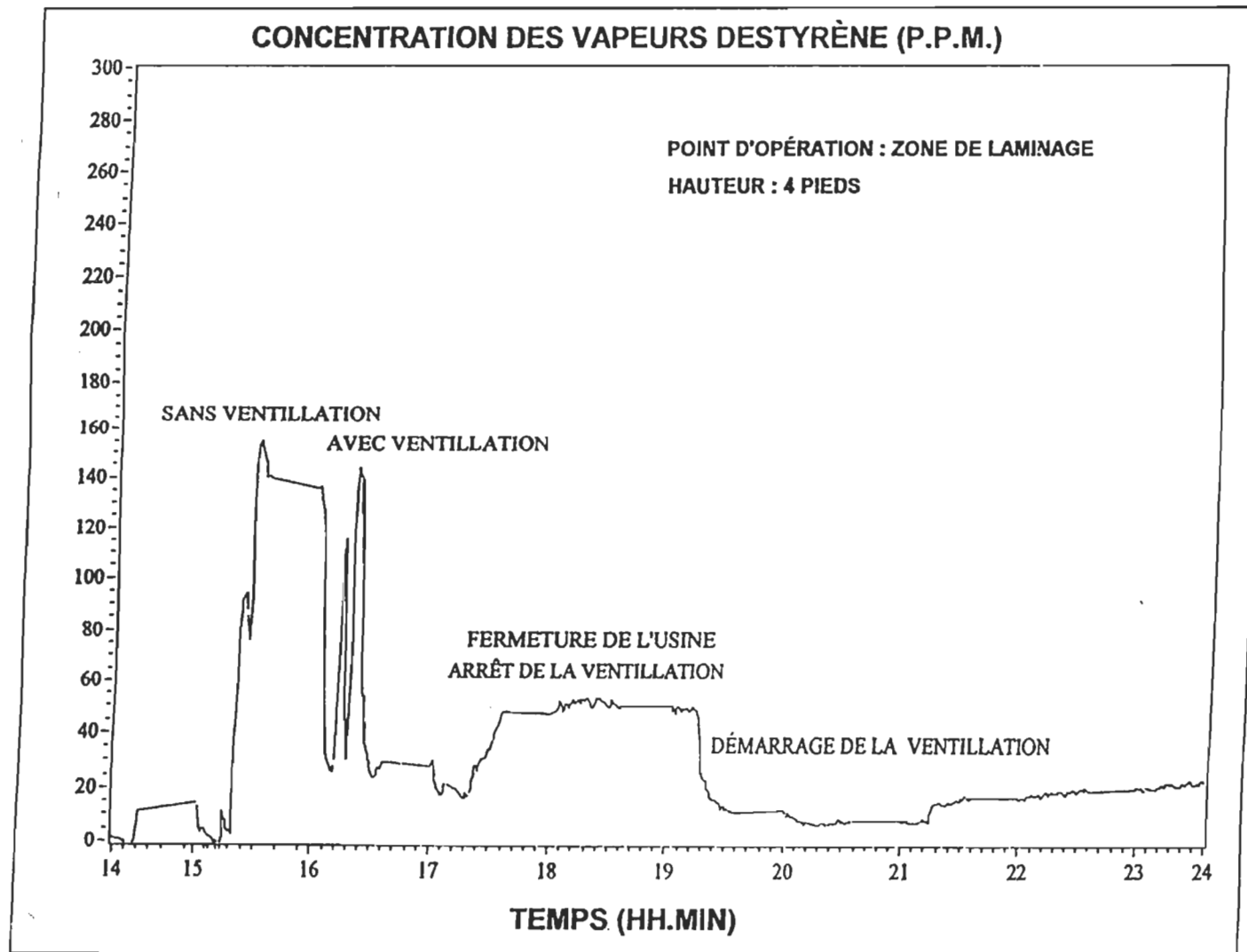


Figure 8.4 Concentration des vapeurs de styrène (ppm) au P1, P2 et P3 (jour 1)

Concentration des vapeurs de styrène :

La concentration affichée est presque nulle, la concentration minimale des vapeurs détectée, vient des opérations en cours dans les autres endroits de l'usine.

Point d'opération P2 (jour 1)

Coordonnée de positionnement P(x,y,z)	(70', 38', 6')
Début de test	14 H 30
Fin de test	14 H 55
Environnement et opérations	<ul style="list-style-type: none">* Le bloc transducteur est localisé en face du poste de taillage et de la zone de séchage. Dans cette zone se trouvait un moule sous un ventilateur dans sa phase finale de séchage* Pas de ventilation* Aucune activité autour du point d'opération

Concentration des vapeurs de styrène :

On remarque que dans cette zone la concentration de styrène détectée a augmenté graduellement (figure 8.5). Dans cette zone, on trouve un moule qui a été sortie de la salle de laminage et de projection dans sa phase finale de séchage. Cette opération est activée par l'utilisation des ventilateurs pour accélérer le procédé. Le séchage est accompagné par des dégagements de vapeurs de styrène dans les fibres projetées.

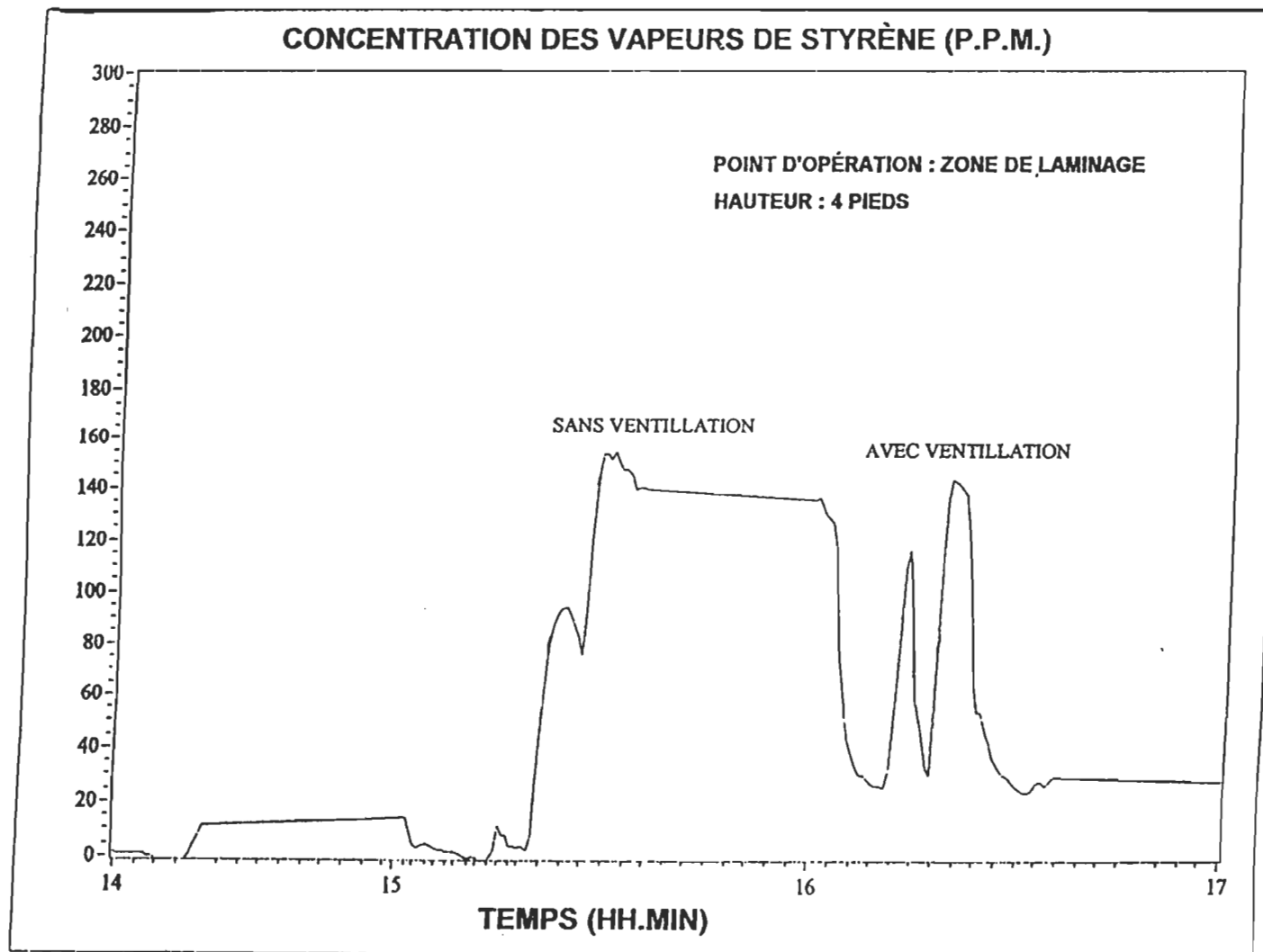


Figure 8.5 Concentration des vapeurs de styrène (ppm) au P1, P2 et P3 (jour 1)

Point d'opération P3 (jour 1, 2 et 3)

Coordonnée de positionnement P(x,y,z)	(78', 56', 4')
Début de test	15 H 00
Fin de test	15 H 40
Environnement et opérations	<ul style="list-style-type: none">* Le bloc transducteur est localisé dans la chambre de laminage, la durée normale de cette opération est de 30 à 40 min.* Petite fenêtre ouverte de 1.25 pi²* Pas de ventilation durant l'opération* Aucune activité autour du point d'opération

Concentration des vapeurs de styrène :

Le bloc transducteurs a été placé dans la chambre de projection et de laminage. Lors du processus de fabrication, et après la projection des fibres, une opération de laminage est réalisée dans le but d'enlever toutes les bulles d'air qui ont été emprisonnées entre les fibres. Pendant cette opération, on a constaté une élévation de concentration des vapeurs de styrène très importante et presque

instantanée après le début de laminage (figure 8.5). Cette concentration a atteint les 160 ppm, et ce sans la présence de ventilation. Même après la fin de laminage la concentration des vapeurs de styrènes est restée aussi élevée autour de 140 ppm. C'est seulement qu'après le fonctionnement du système de ventilation que la concentration de styrène a commencé à chuter et avait atteint le niveau le plus bas de 20 ppm. Pour valider et voir si le processus de dégagement des vapeurs de styrène est bel et bien encore actif, on a arrêté la ventilation dans la chambre de laminage, après juste quelques minutes on a constaté une augmentation graduelle dans la concentration affichée par le transducteur jusqu'à une stabilisation autour de 60 ppm et ce pendant presque deux heures après le démarrage de la ventilation de nouveau (figure 8.6). Ceci nous laisse croire que les vapeurs de styrènes restent toujours présentes dans l'air tant et aussi longtemps qu'aucune évacuation ou changement d'air n'est réalisé. Car dès le démarrage de la ventilation, la concentration affichée a été diminuée presque instantanément et a chuté à un niveau autour de 10 ppm. Après deux heures de fonctionnement tous les systèmes de ventilations ont été fermés et l'usine a fermé ses portes pour la nuit. Pendant la nuit la concentration du styrène dans l'usine a monté graduellement dès l'arrêt de la ventilation pour se stabiliser à un niveau autour de 20 ppm.

La figure 8.7, montre la variation de la concentration des vapeurs de styrènes pendant la deuxième journée d'acquisition de données.

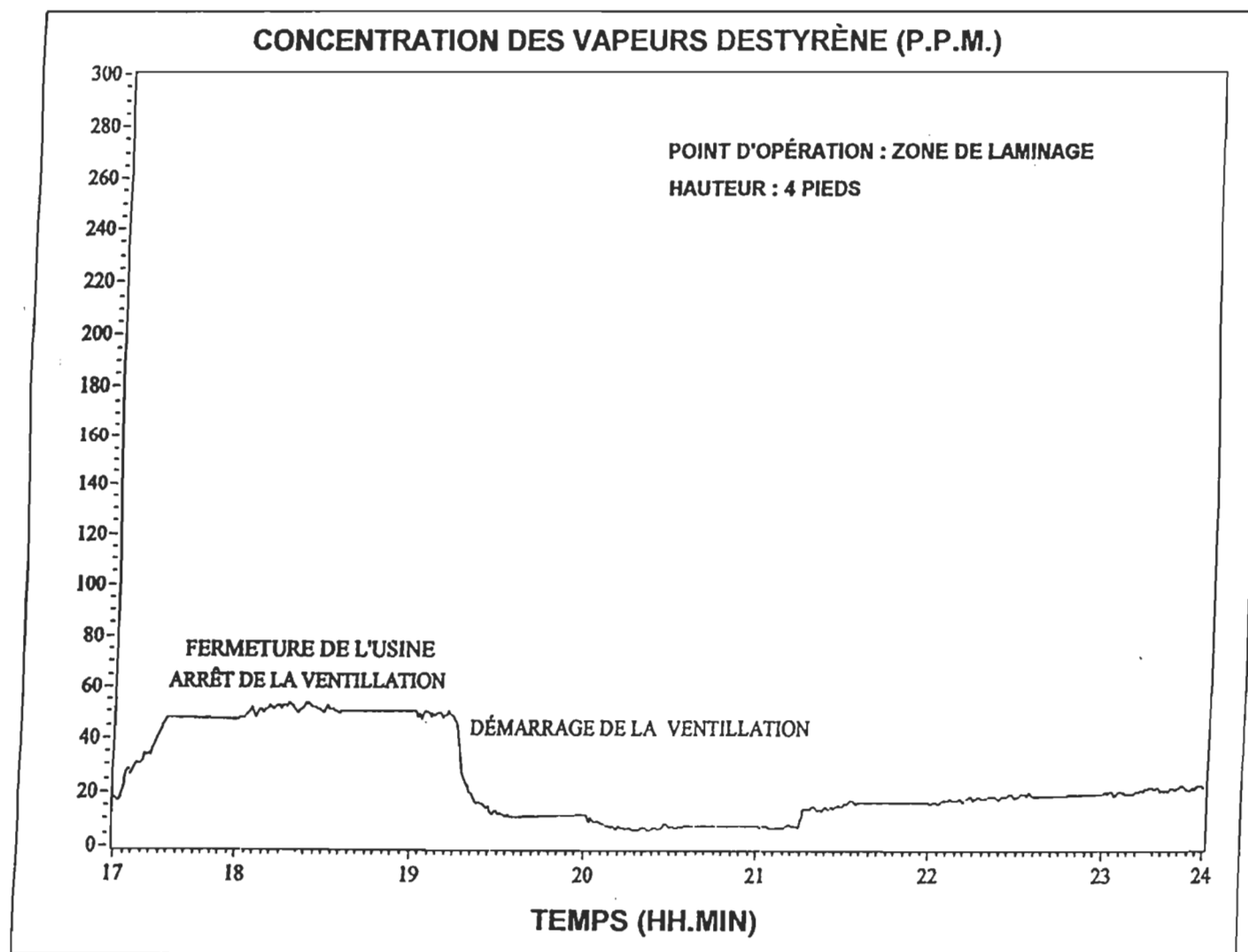


Figure 8.6 Concentration des vapeurs de styrène (ppm) au P3 (jour 1)

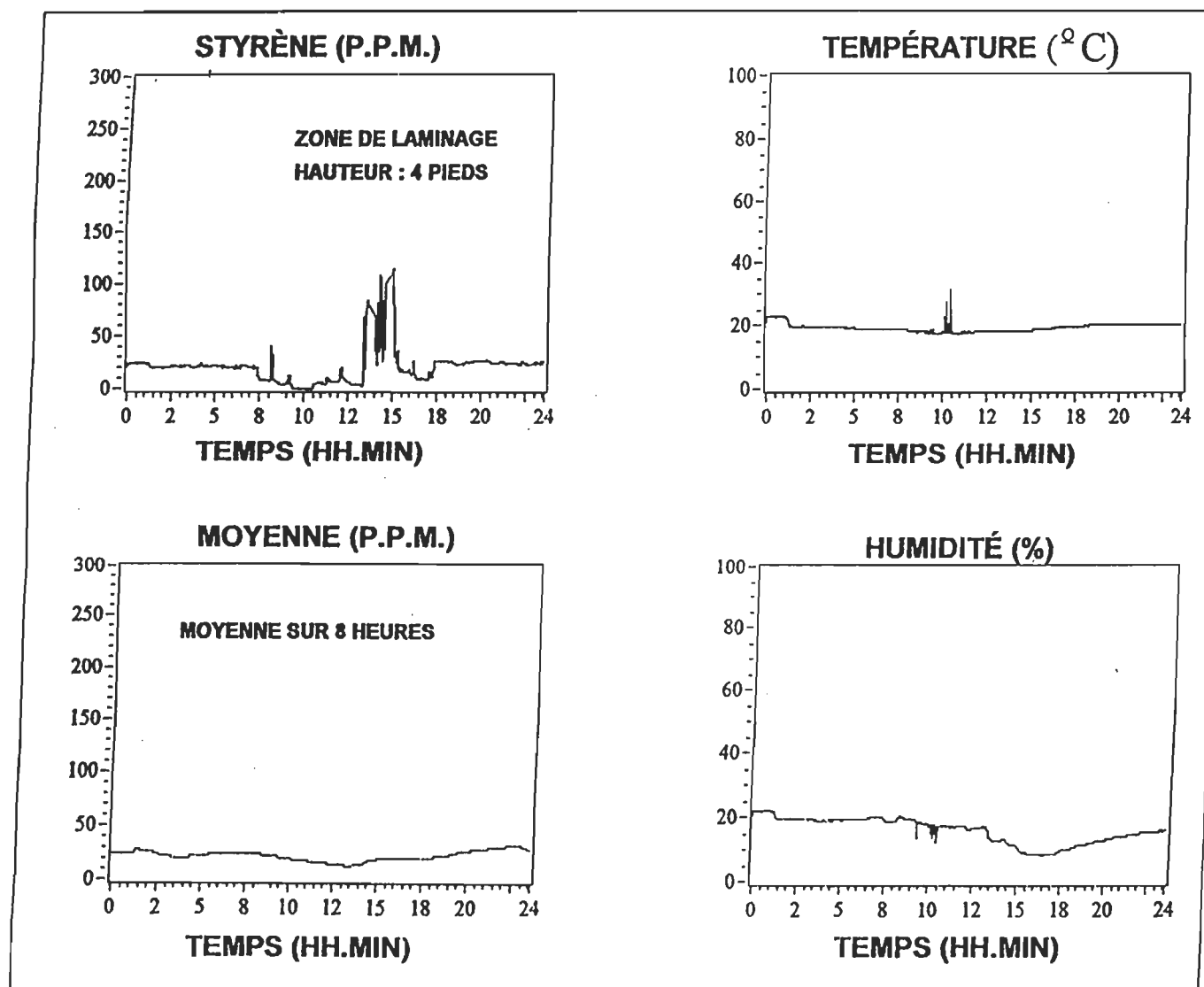


Figure 8.7 Écran d'affichage, P3 (jour 2)

Le bloc transducteur a resté au point P3, dans la chambre de laminage et de projection de fibre. On remarque que dès l'ouverture de l'usine, il y a une diminution de la concentration de styrène dans l'usine ceci est dû au démarrage du système de ventilation et au mouvement de l'air dans l'usine suite à l'ouverture et les fermetures des portes (figure 8.8). La seule opération accomplie dans la chambre de laminage, était l'application du gel coat sur des moules. Cette opération a débuté vers 13h00 heures et avait duré presque deux heures en total. L'application du gel coat n'est pas continue, elle se fait sur plusieurs étapes pour laisser le temps au produit de sécher entre les couches. La ventilation était en marche avant même le début de l'application. La concentration des vapeurs de styrène fluctuait pendant cette période (figure 8.9), elle a atteint un niveau maximum autour de 120 ppm. Après la fin de l'application du gel coat, la concentration a chuté presque instantanément et graduellement elle s'était stabilisé à un niveau assez proche de 10 ppm. La fermeture de l'usine et l'arrêt de la ventilation était à 17h00, c'est quelques minutes après que la concentration des vapeurs de styrènes avait monté et était autour de 20 ppm pendant toute la fermeture de l'usine figure(8.8).

La figure 8.10 montre la variation de la concentration des vapeurs de styrènes pendant la troisième journée d'acquisition de données.

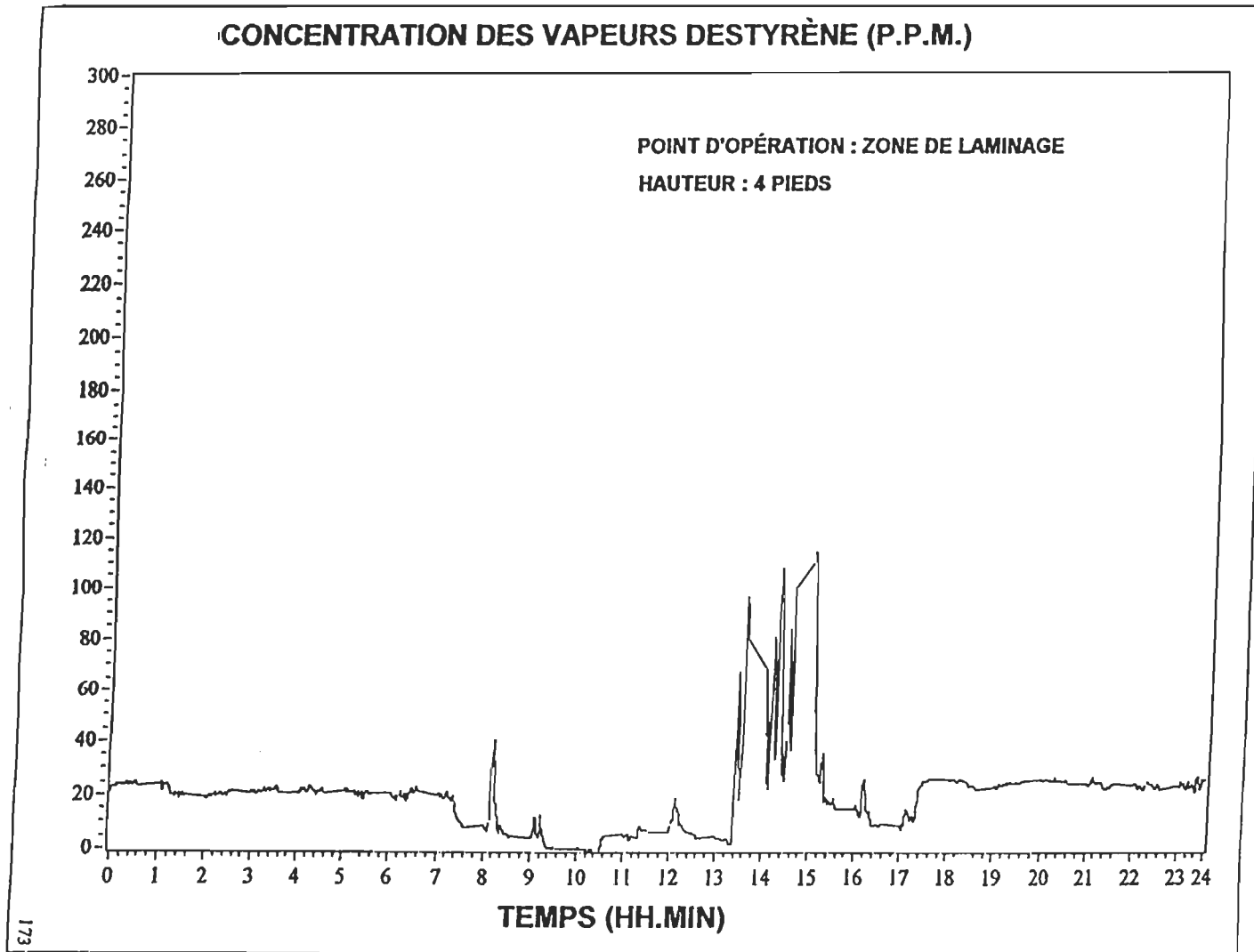


Figure 8.8 Concentration des vapeurs de styrène (ppm) du jour 2 au P3

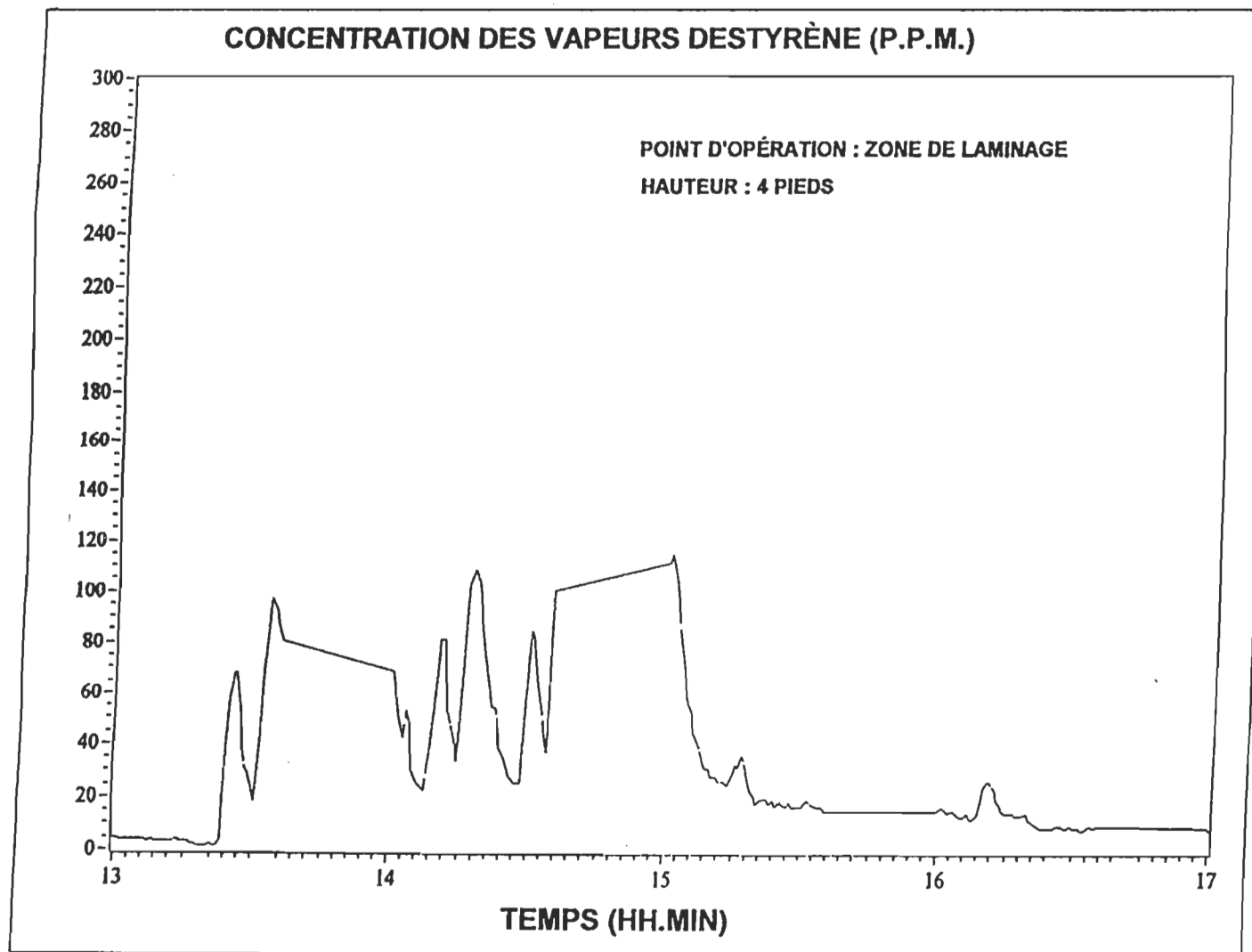


Figure 8.9 Concentration des vapeurs de styrène (ppm) au P3 (jour 2)

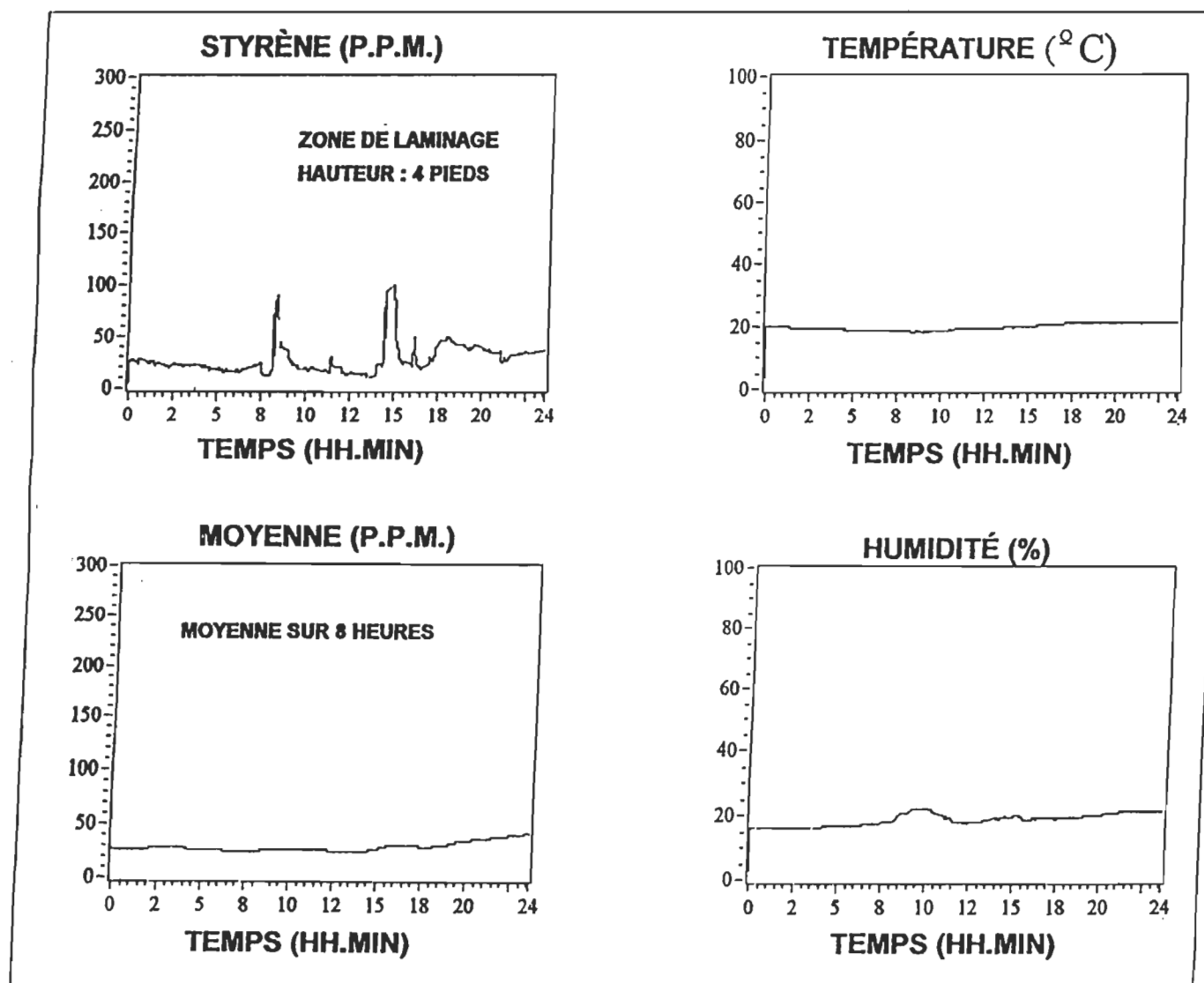


Figure 8.10 Écran d'affichage, P3 (jour3)

Le bloc transducteur a resté au point P3, dans la chambre de laminage et de projection de fibre. Pendant toute la journée, on n'a pas fait fonctionner le système de ventilation. Les fluctuations de la concentration des vapeurs de styrène à un niveau donné sont principalement dues à l'arrêt de l'opération en cours ou au mouvement de l'air dans l'usine causée par l'ouverture et la fermeture des portes (figure 8.11). L'application de gel coat était les deux seules opérations effectuées dans la chambre de laminage et de projection de fibres. La concentration des vapeurs de styrènes était autour de 100 ppm pendant ces opérations (figure 8.12 et 8.13), Les fluctuations étaient similaires au deuxième jour, la seule différence c'est que pendant la fermeture de l'usine la concentration a grimpé jusqu'à 40 ppm et elle s'est stabilisé autour de ce niveau pendant la période de fermeture de l'usine (figure 8.14). Cette augmentation est due principalement par le fait que pendant toute la journée on n'a pas démarré le système de ventilation.

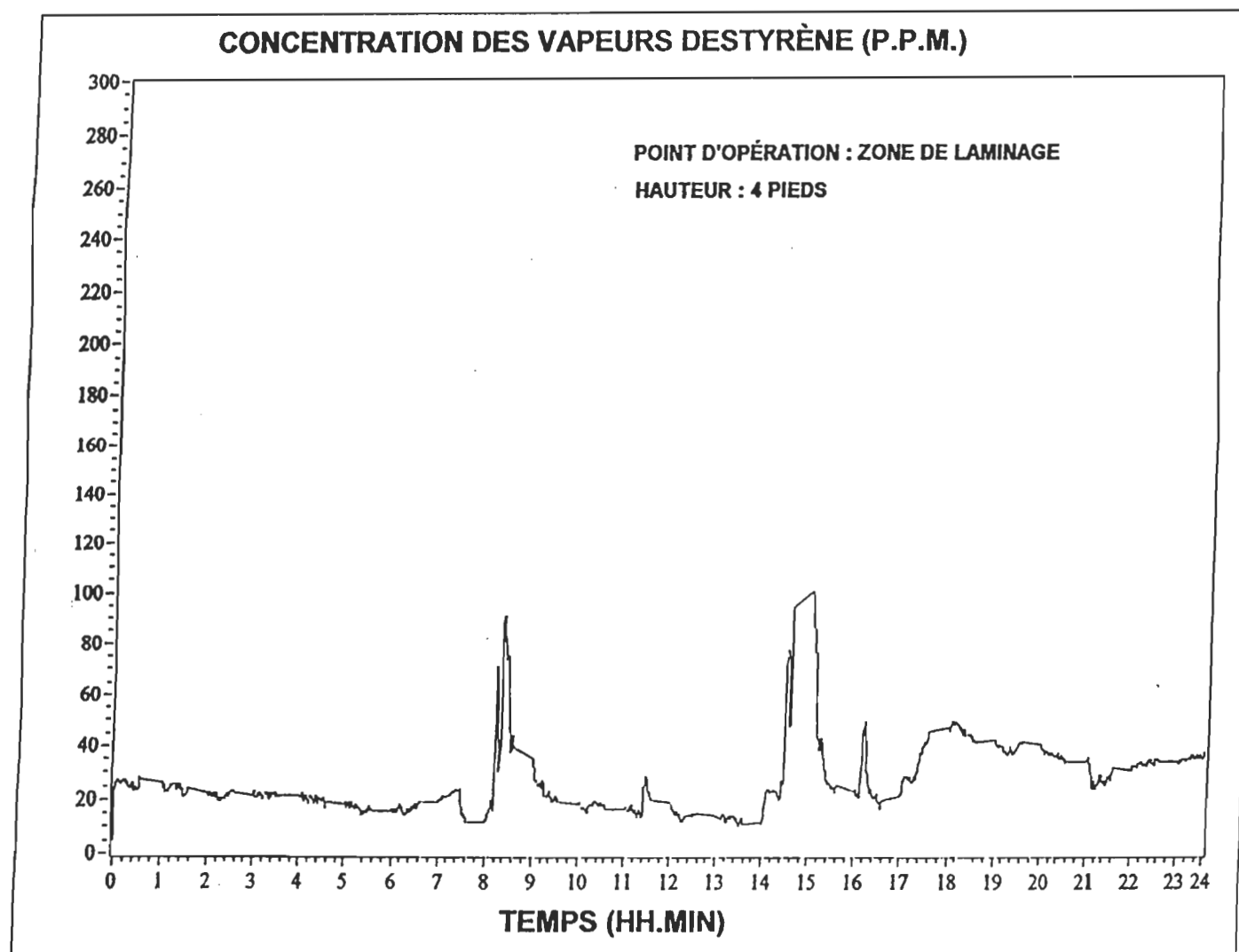


Figure 8.11 Concentration des vapeurs de styrène (ppm) du jour 3 au P3

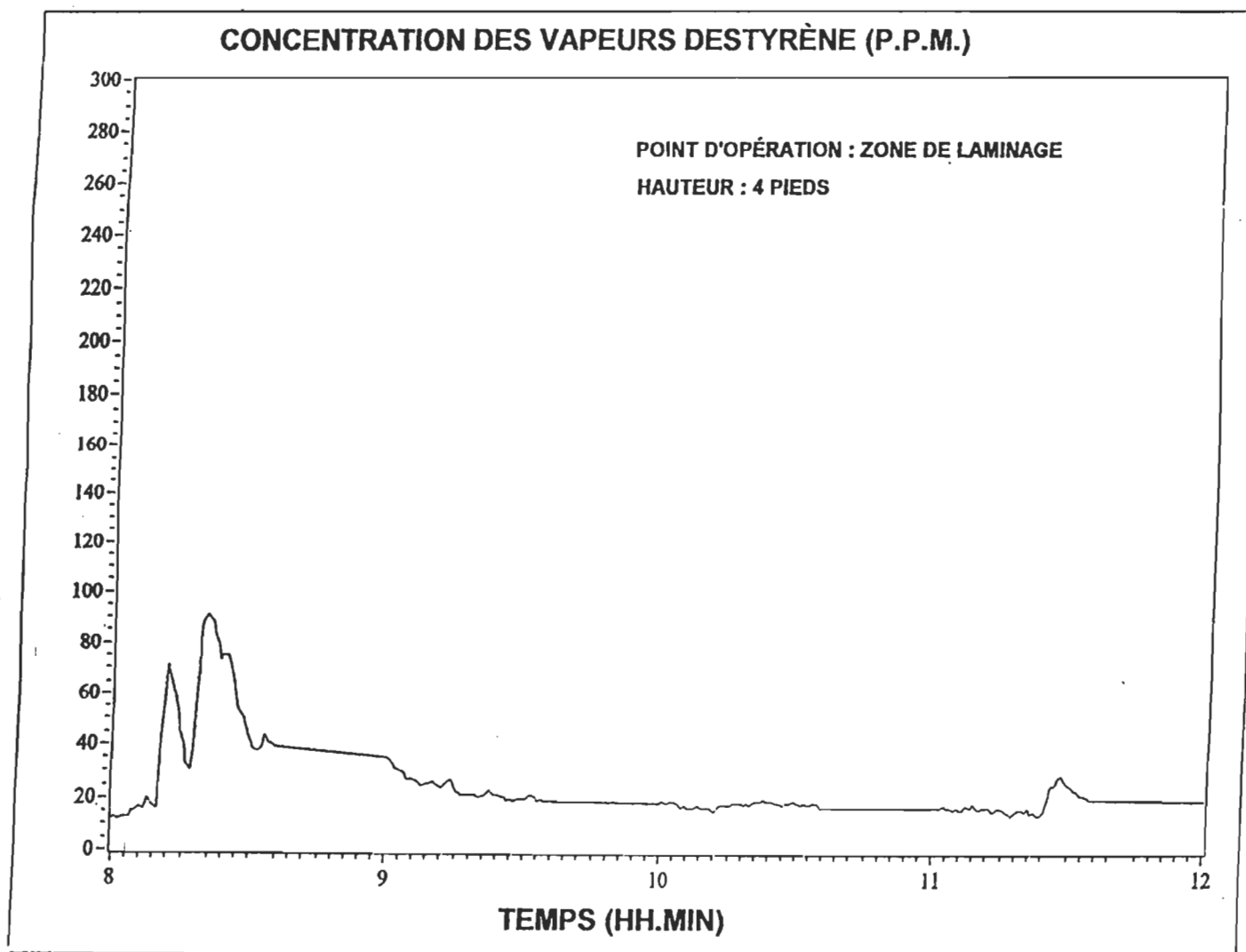


Figure 8.12 Concentration des vapeurs de styrène (ppm) au P3 (jour 3)

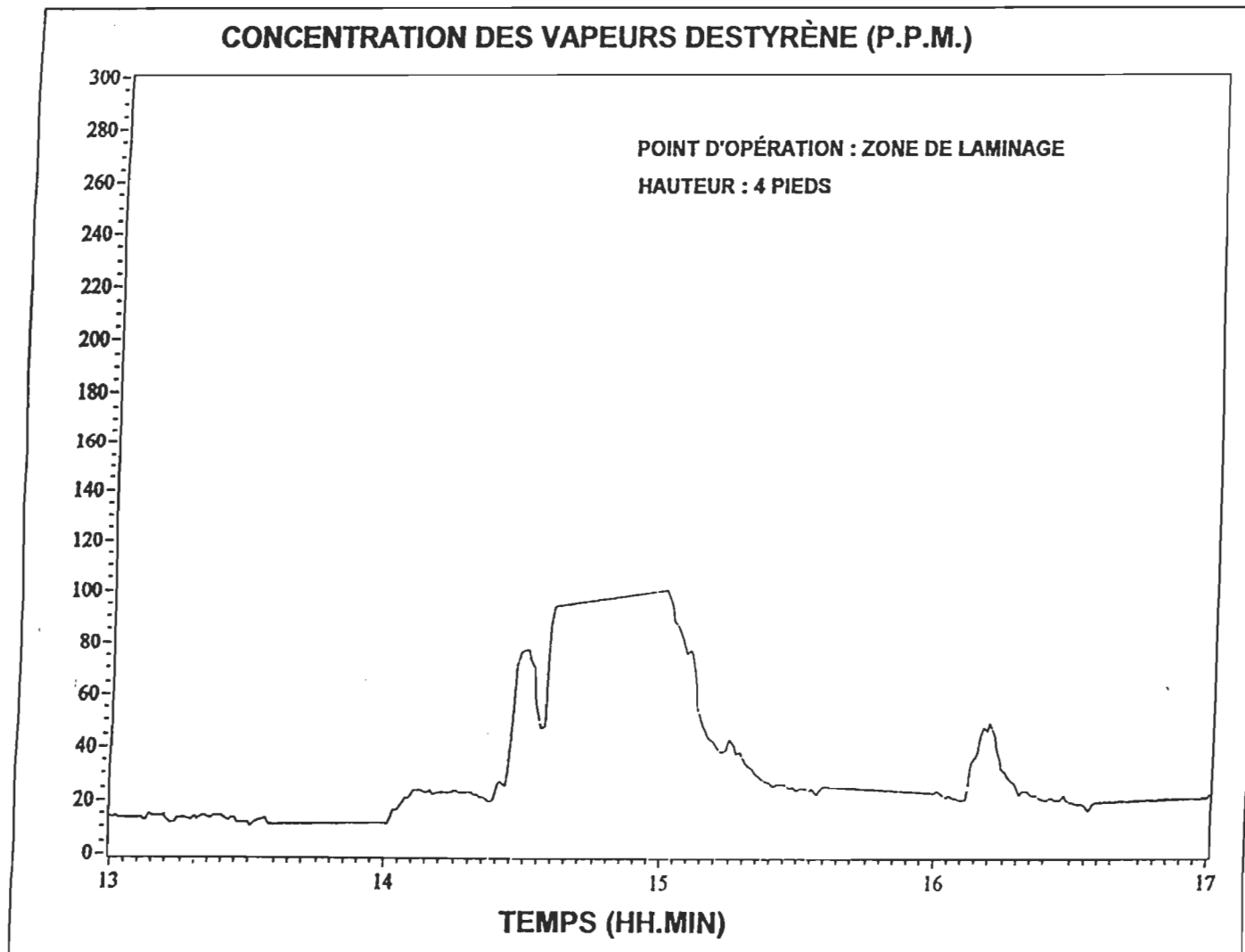


Figure 8.13 Concentration des vapeurs de styrène (ppm) au P3 (jour 3)

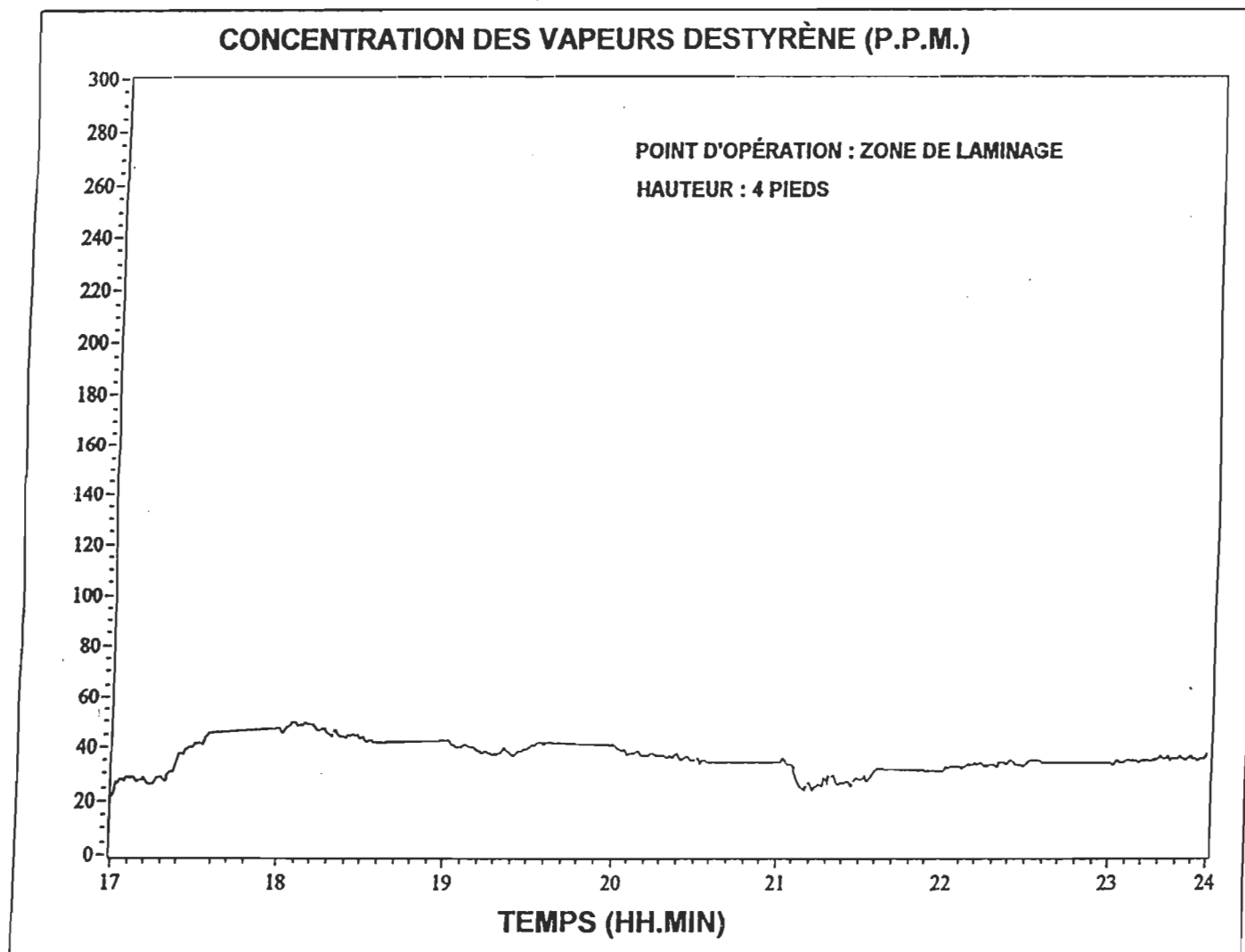


Figure 8.14 Concentration des vapeurs de styrène (ppm) au P3 (jour 3)

Partie 2

Cette étape fait référence à une durée de six jours d'acquisition de donnée qui se sont réalisés aux points P4 à P12 (figure 8.15, 8.16, et 8.17). Pendant ces jours, on a fait un balayage de l'usine dans différents points pour voir la concentration des vapeurs de styrène aux endroits où l'utilisation des produits contenant du styrène n'est pas utilisée. La nature des opérations effectuées à certains endroits était seulement du montage des cabines ou de taillage et d'assemblage.

Point d'opération P4 (jour 4)

Coordonnée de positionnement P(x,y,z)	(10', 35', 4')
Début de test	14 H 24
Fin de test	14 H 43
Environnement et opérations	<ul style="list-style-type: none">* Le bloc transducteur est localisé près du poste de montage* Opération en cours: Montage d'une cabine en phase finale de séchage* Porte de garage ouverte

Concentration des vapeurs de styrène :

Concentration autour de 10 ppm.

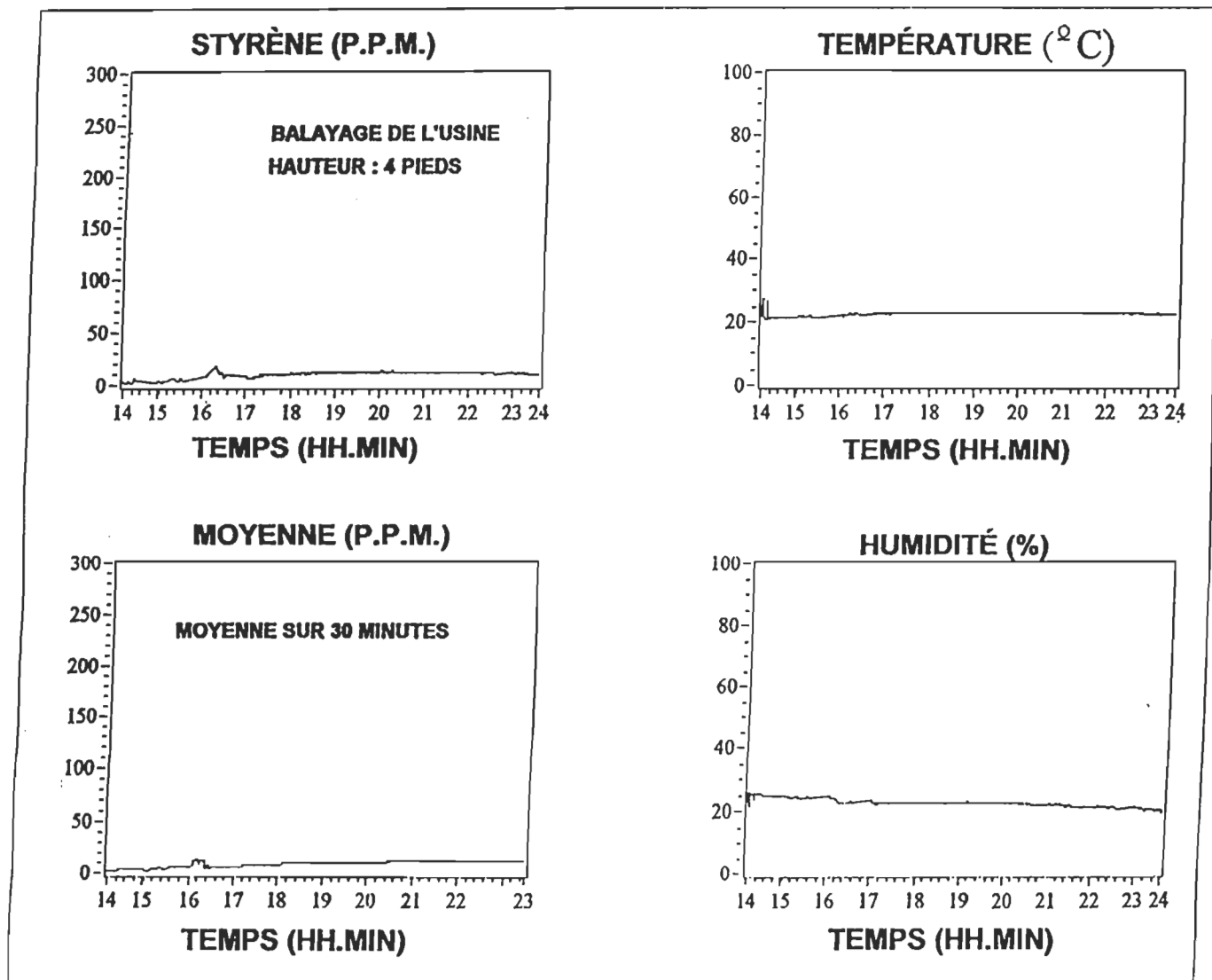


Figure 8.15 Écran d'affichage, P4 au P12 (jour 4)

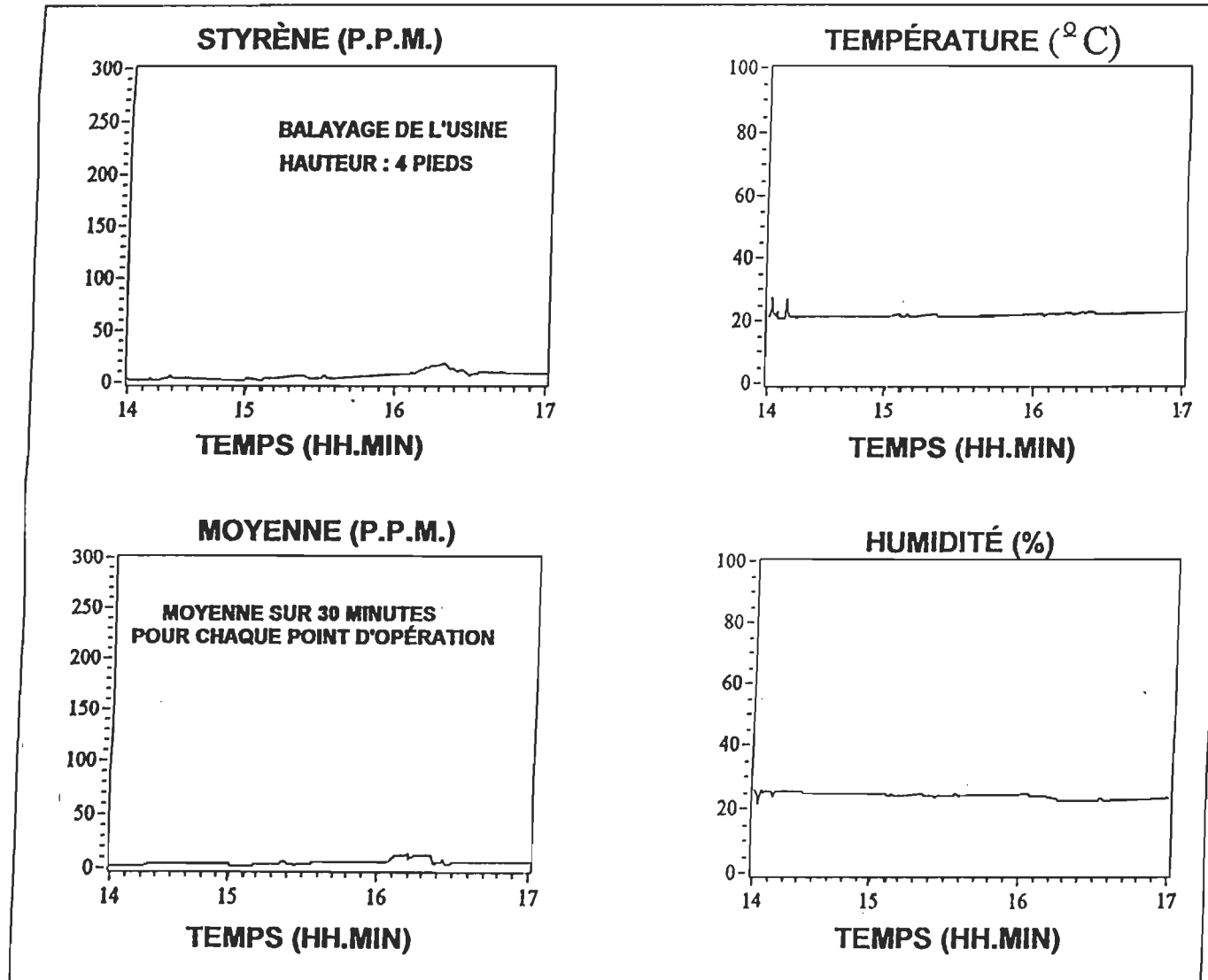


Figure 8.16 Écran d'affichage, P4 au P12 (jour 4)

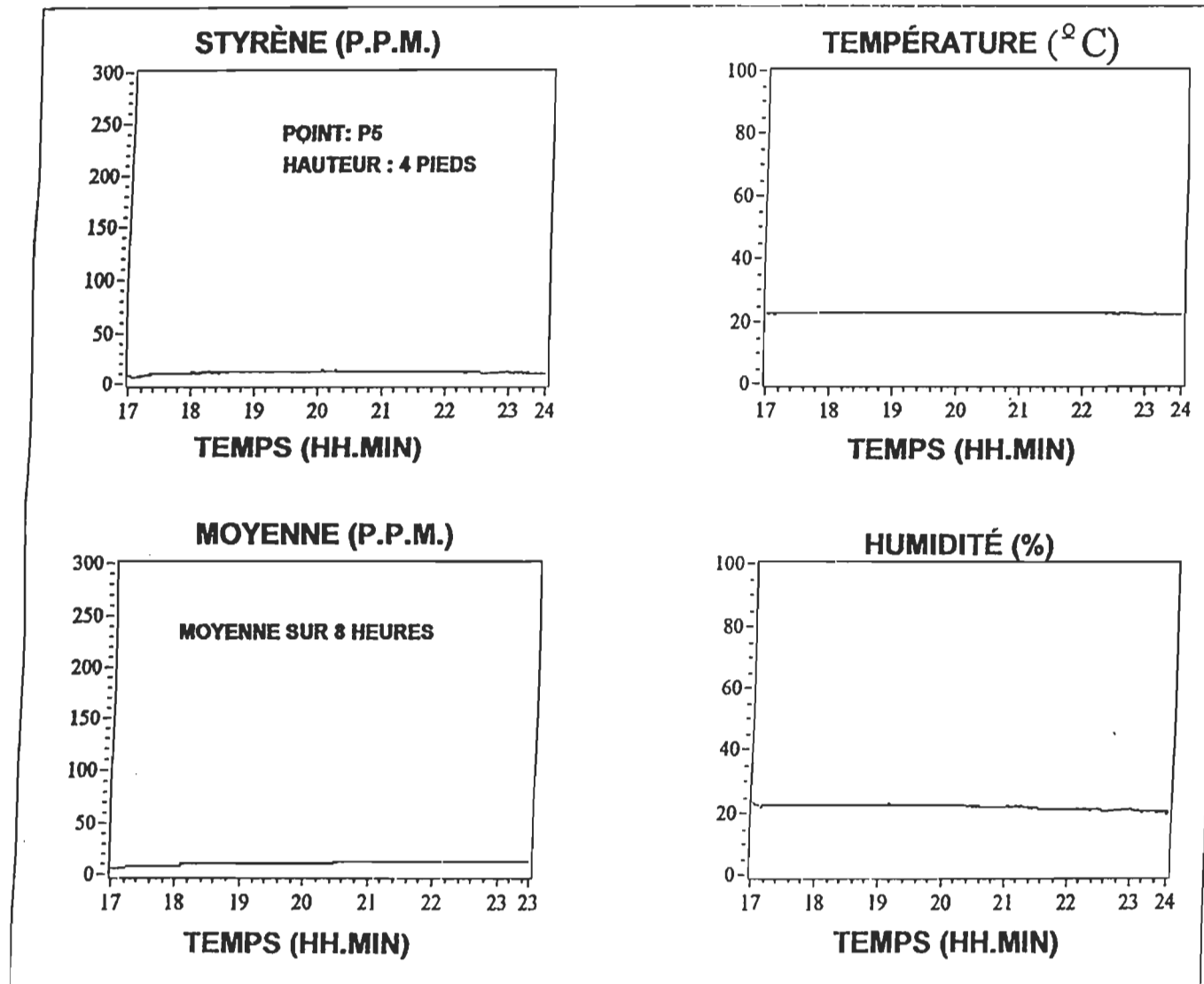


Figure 8.17 Écran d'affichage, P5 (jour 4)

Point d'opération P5 (jour 4)

Coordonnée de positionnement P(x,y,z)	(10', 25', 4')
Début de test	14 H 45
Fin de test	15 H 04
Environnement et opérations	<ul style="list-style-type: none">* Le bloc transducteur est localisé près du poste de montage* Opération en cours: Montage d'une cabine en phase finale de séchage* Porte de garage ouverte* Pas de ventilation

Concentration des vapeurs de styrène :

Concentration autour de 10 ppm.

Point d'opération P6 (jour 4)

Coordonnée de positionnement P(x,y,z)	(10', 10', 4')
Début de test	15 H 10
Fin de test	15 H 25
Environnement et opérations	<ul style="list-style-type: none">* Le bloc transducteur est localisé près du poste de montage et de taillage* Opération en cours: Montage et taillage d'une cabine* Porte de garage ouverte* Pas de ventilation durant l'opération

Concentration des vapeurs de styrène :

Concentration autour de 10 ppm.

Point d'opération P7 (jour4)

Coordonnée de positionnement P(x,y,z)	(38', 35', 4')
Début de test	15 H 35
Fin de test	15 H 48
Environnement et opérations	<ul style="list-style-type: none">* Le bloc transducteur est localisé près du poste de montage et de taillage* Opération en cours: Montage et taillage d'une cabine* Pas de fenêtre ni porte ouverte* Pas de ventilation durant l'opération

Concentration des vapeurs de styrène :

Concentration autour de 10 ppm.

Point d'opération P8 (jour4)

Coordonnée de positionnement P(x,y,z)	(38', 25', 4')
Début de test	15 H 51
Fin de test	16 H 04
Environnement et opérations	<ul style="list-style-type: none">* Le bloc transducteur est localisé près du poste de montage et de taillage, à proximité des cabines en attente de taillage* Opération en cours: taillage d'une cabine* Pas de fenêtre ni porte ouverte* Pas de ventilation durant l'opération

Concentration des vapeurs de styrène :

Concentration autour de 10 ppm.

Point d'opération P9 (jour4)

Coordonnée de positionnement P(x,y,z)	(38', 10', 4')
Début de test	16 H 04
Fin de test	16 H 13
Environnement et opérations	<ul style="list-style-type: none">* Le bloc transducteur est localisé près du poste de taillage* Aucune opération en cours* Pas de fenêtre ni porte ouverte* Endroit ventilé

Concentration des vapeurs de styrène :

Concentration autour de 10 ppm.

Point d'opération P10 (jour4)

Coordonnée de positionnement P(x,y,z)	(79', 35', 4')
Début de test	16 H 18
Fin de test	16 H 20
Environnement et opérations	<ul style="list-style-type: none">* Opération en cours: Moulage dans la chambre de laminage et séchage du moule en cours* Petite fenêtre ouverte de 1.25 pi² dans la chambre de laminage* Pas de ventilation

Concentration des vapeurs de styrène :

Concentration autour de 10 ppm.

Point d'opération P11 (jour4)

Coordonnée de positionnement P(x,y,z)	(79', 25', 4')
Début de test	16 H 33
Fin de test	16 H 45
Environnement et opérations	<ul style="list-style-type: none">* Opération en cours: Moulage dans la chambre de laminage et séchage du moule en cours* Petite fenêtre ouverte de 1.25 pi² dans la chambre de laminage* Pas de ventilation

Concentration des vapeurs de styrène :

Concentration autour de 10 ppm.

Point d'opération P12 (jour4)

Coordonnée de positionnement P(x,y,z)	(79', 10', 4')
Début de test	16 H 47
Fin de test	16 H 56
Environnement et opérations	<ul style="list-style-type: none">* Opération en cours: séchage du moulage en cours* Petite fenêtre ouverte de 1.25 pi² dans la chambre de laminage* Ventilation en marche

Concentration des vapeurs de styrène :

Concentration autour de 10 ppm.

Jour 5,6,7,8 et 9

Pendant les 5 jours suivantes d'acquisitions de données, le bloc transducteur a été placé au point 5. L'enregistrement des données a été réalisé sans interruptions, la concentration était presque stable à cet endroit pendant la durée de l'acquisition et a fluctué autour de 10 ppm (figure 8.18, 8.19, 8.20, 8.21 et 8.22)

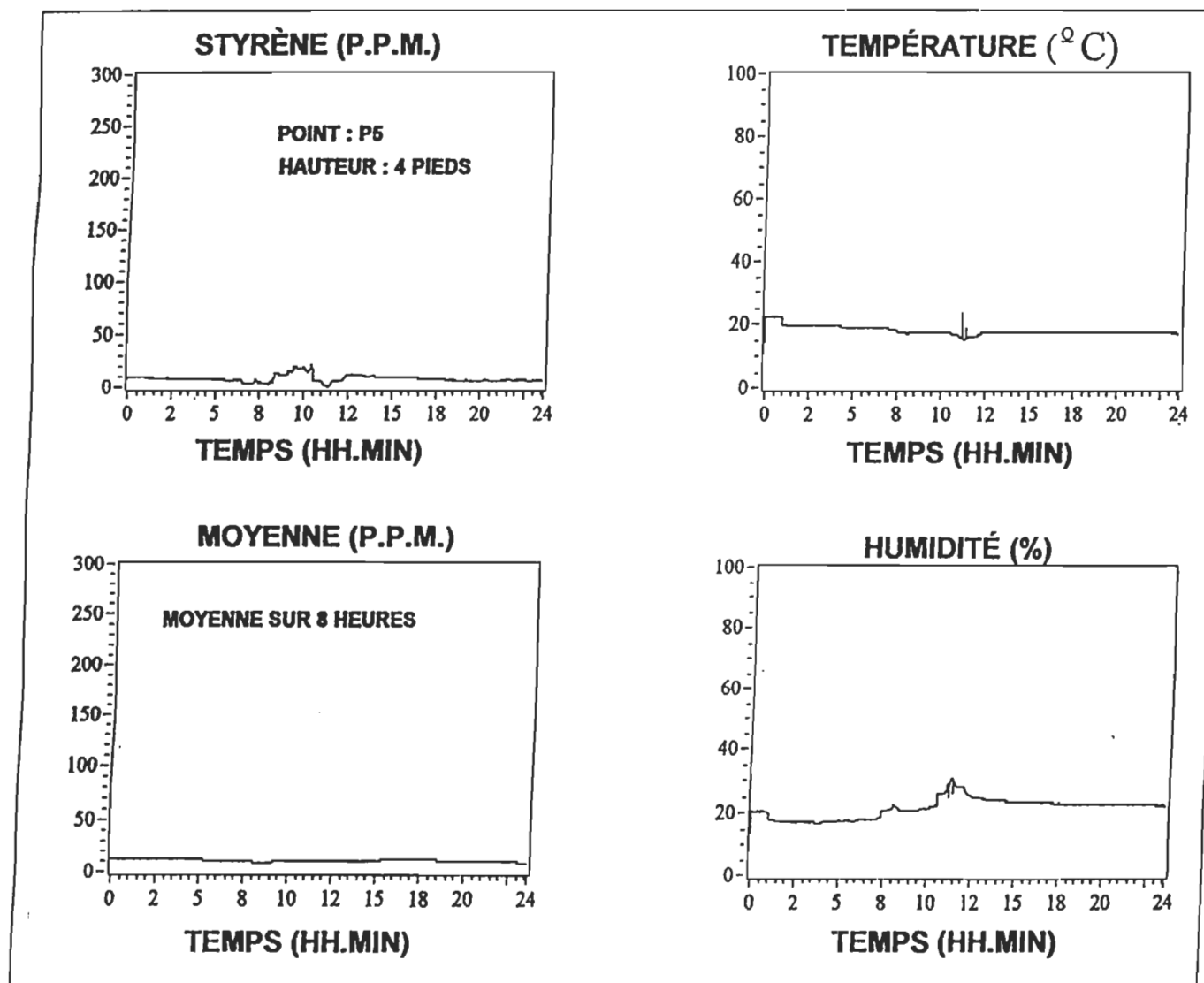


Figure 8.18 Écran d'affichage, P5 (jour 5)

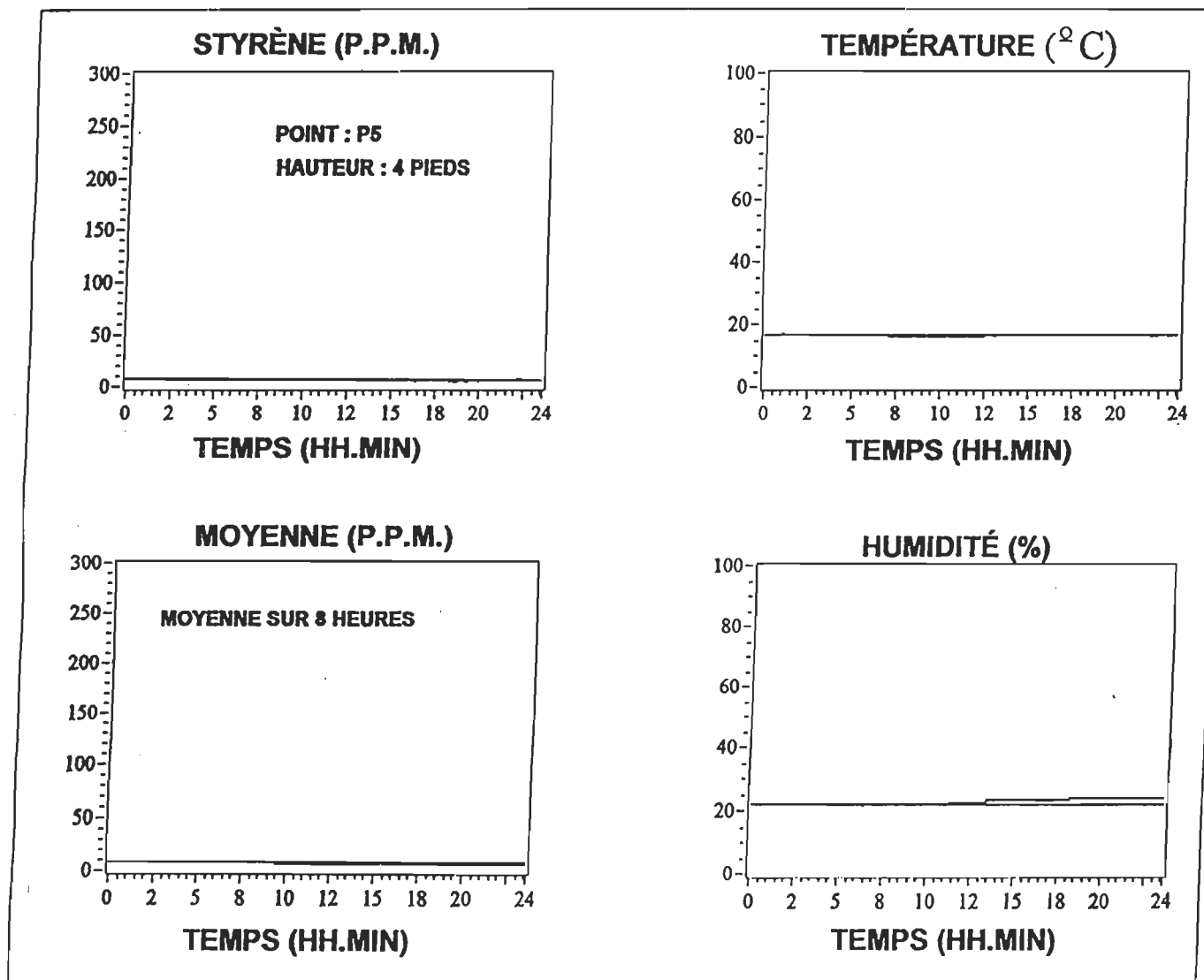


Figure 8.19 Écran d'affichage, P5 (jour 6)

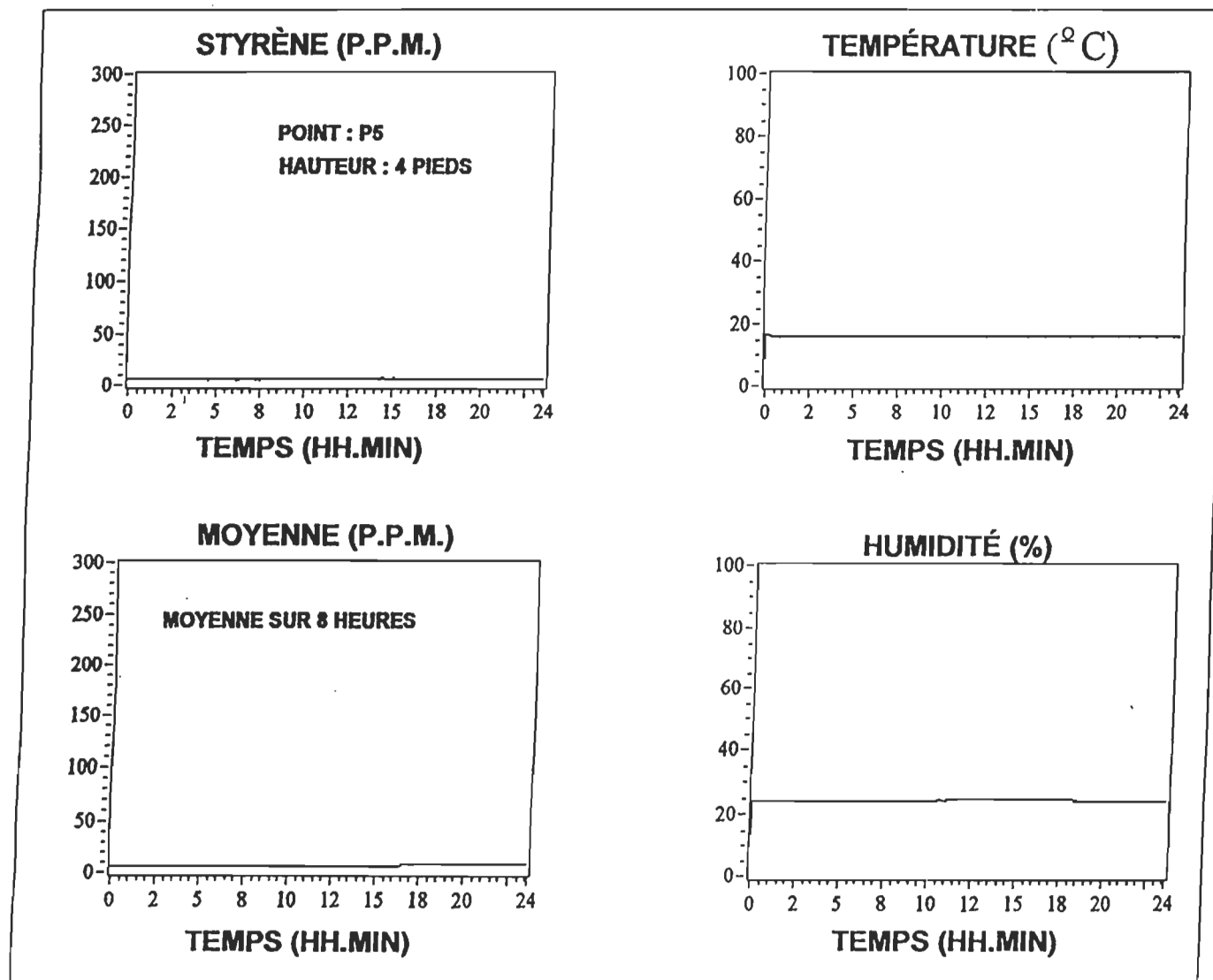


Figure 8.20 Écran d'affichage, P5 (jour 7)

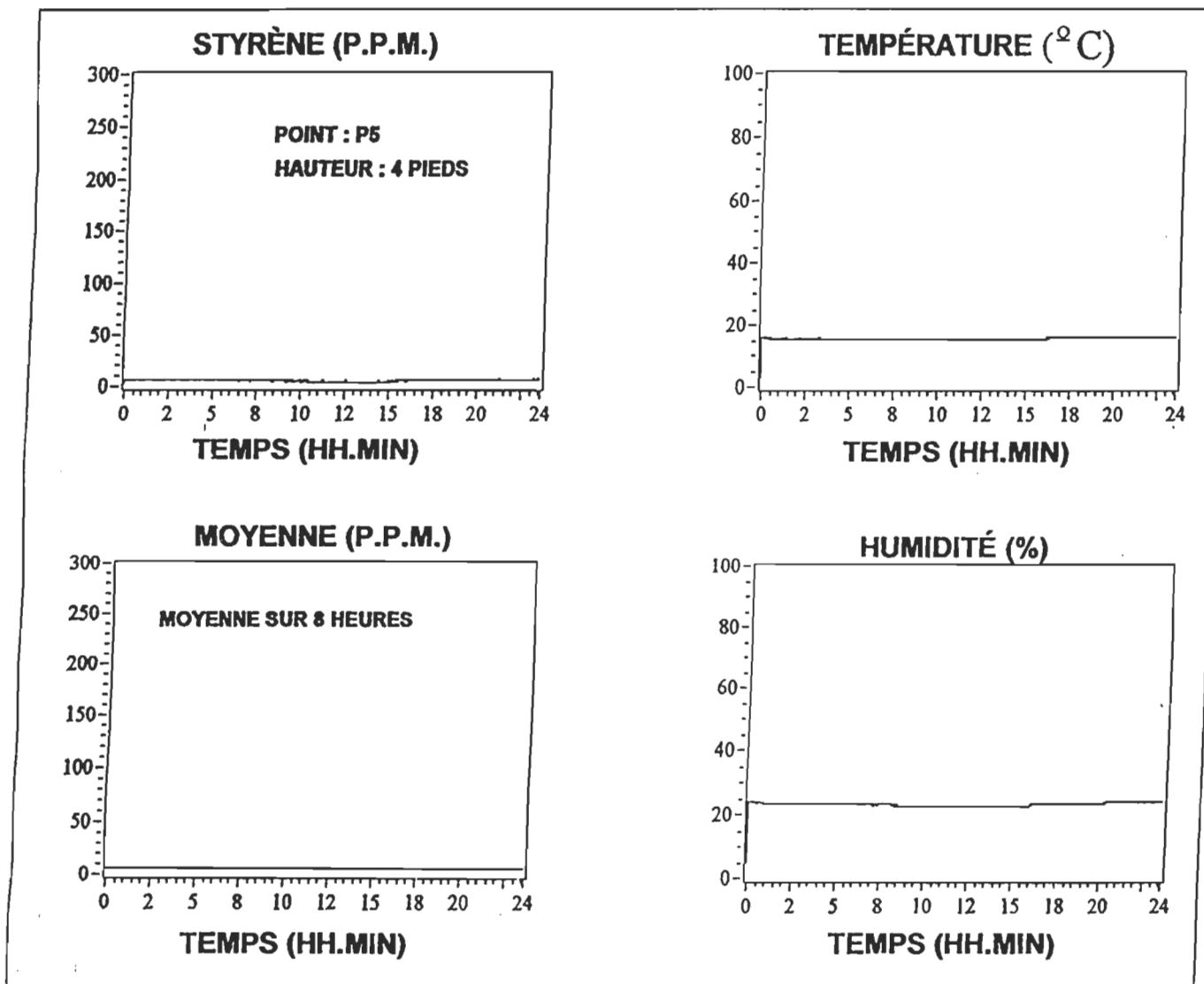


Figure 8.21 Écran d'affichage, P5 (jour 8)

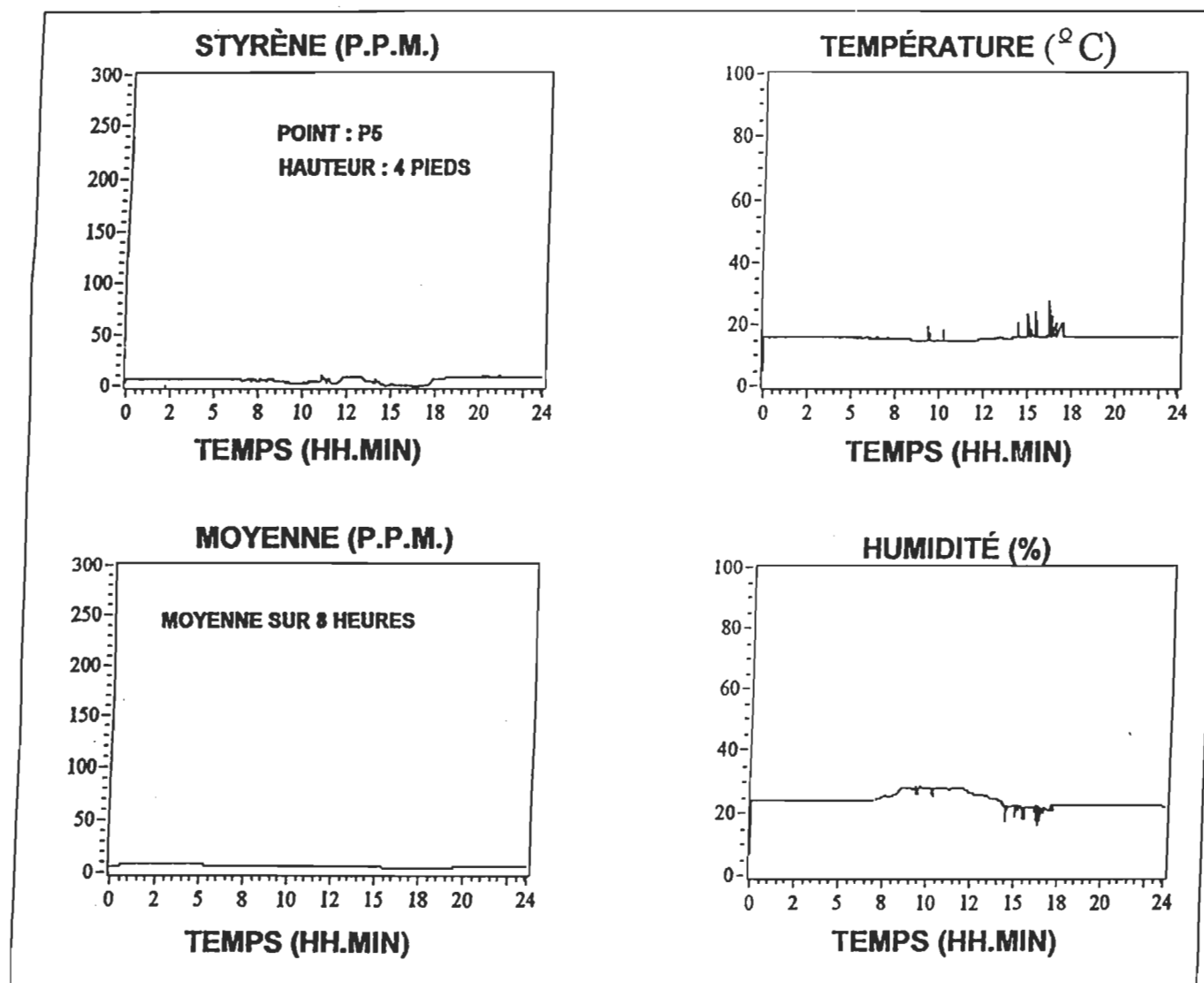


Figure 8.22 Écran d'affichage, P5 (jour 9)

Partie 3

Cette étape fait référence à une durée d'un jour d'acquisition de donnée qui s'est réalisé aux trois points P13 à P15. Pendant cette journée (figure 8.23), on a assisté à des différentes opérations de peinture, de projection de fibre et de laminage (figure 8.24). Cette étape inclut en plus des opérations effectuées pendant l'acquisition du jour 1, l'étape de peinture des cabines et de différents accessoires. Pendant cette étape, on a suivi les opérations en cours réalisées dans l'usine. Les résultats et les fluctuations des vapeurs de styrènes obtenues sont similaires à celles du jour 1.

Point d'opération P13 (jour10)

Coordonnée de positionnement P(x,y,z)	(96', 35', 4')
Début de test	11 H 02
Fin de test	11 H 25
Environnement et opérations	<ul style="list-style-type: none">* Le bloc transducteur est localisé dans la chambre de peinture* Opération en cours: peinture de 11 H 15 à 11 H 25* Ventilation en marche

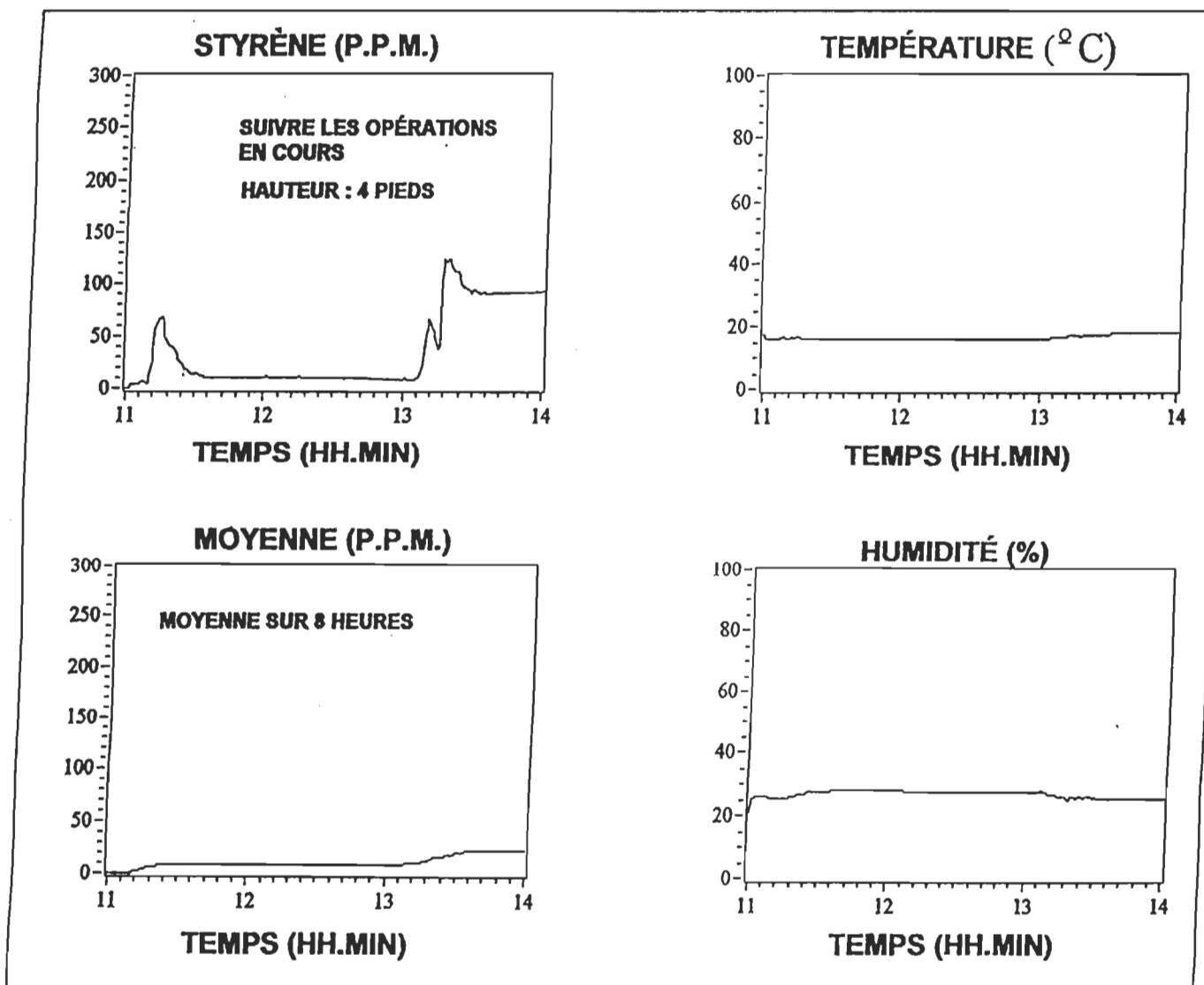


Figure 8.23 Écran d'affichage, P13, P14 et P15 (jour 10)

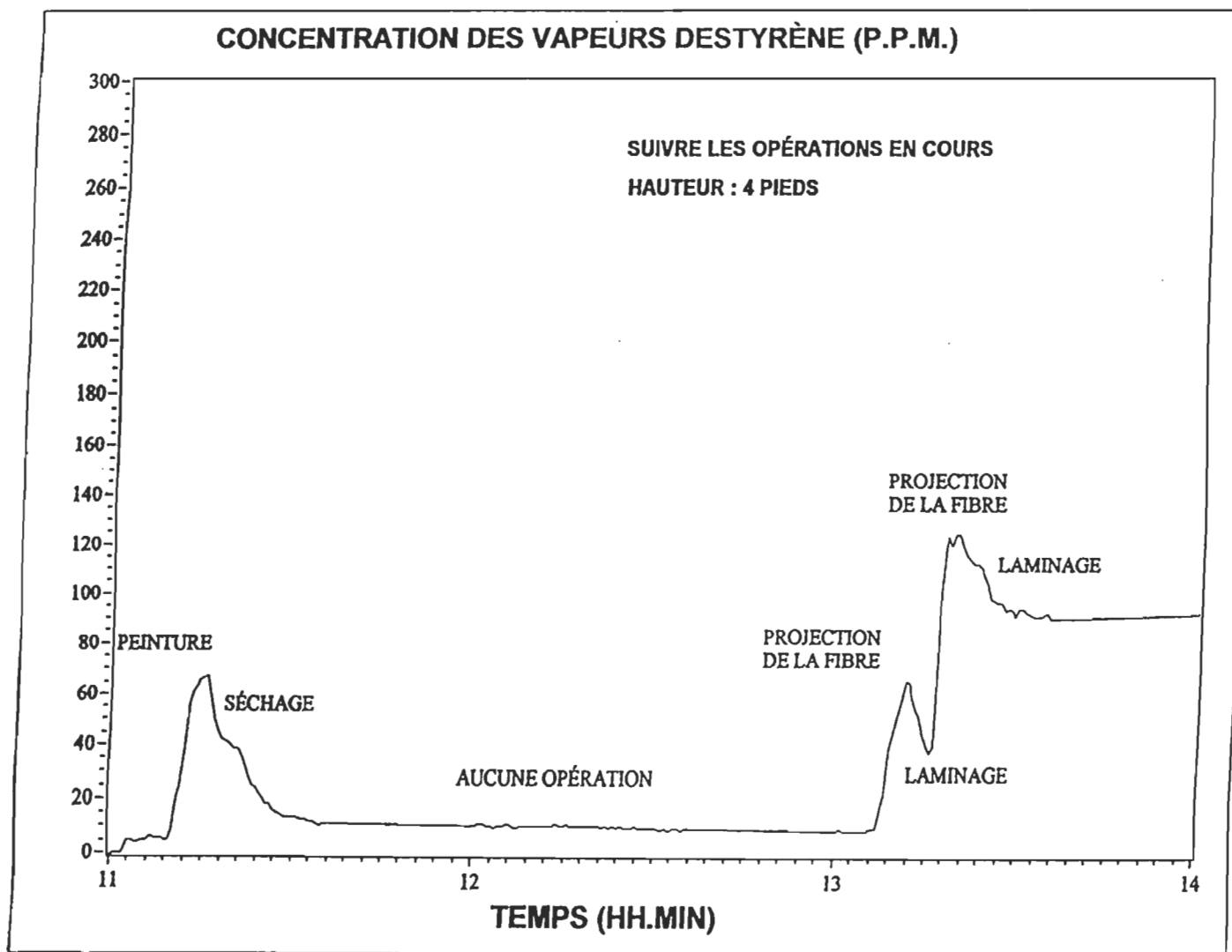


Figure 8.24 Concentration des vapeurs de styrène (ppm) au P13, P14 et P15 (jour 10)

Concentration des vapeurs de styrène :

Nous avons remarqué que pendant cette opération la concentration des vapeurs de styrènes lue par le bloc transducteurs avait atteint autour de 70 ppm. Malgré que la peinture utilisée contient aucun agent de styrène, le bloc a réagit au changement de l'environnement. Ceci nous mène à croire que le bloc transducteur peut réagir à d'autres sortes de vapeurs organiques et chimiques présentes dans l'air. L'accroissement de la concentration affichée et le décroissement s'est fait rapidement au début et à la fin de l'opération de peinture, et la concentration des vapeurs du styrènes affichées était revenue presque au point normal avant le commencement de l'opération.

Point d'opération P14 (jour 10)

Coordonnée de positionnement P(x,y,z)	(104', 10', 4')
Début de test	11H 27
Fin de test	13 H 08
Environnement et opérations	* Le moule est placé dans la zone de séchage

Concentration des vapeurs de styrène :

Le moule était placé dans la zone de séchage après peinture. La concentration des vapeurs de styrène était autour de 10 ppm. C'est le taux normalement prélevé dans l'usine quand il n'y a aucune opération en cours.

Point d'opération P15 (jour 10)

Coordonnée de positionnement P(x,y,z)	(104', 10', 4')
Début de test	13H 09
Fin de test	14 H 00
Environnement et opérations	<ul style="list-style-type: none">* Le bloc transducteur est localisé dans la chambre de laminage* Ventilation en cours* Petite fenêtre ouverte de 1.25 pi² dans la chambre de laminage

Concentration des vapeurs de styrène :

La concentration des vapeurs de styrènes variait en fonction de l'opération de projection et de laminage. On remarque bien que pendant le laminage la concentration était à son bas niveau et que pendant la projection de fibre on assiste à une augmentation de la concentration. Le taux des vapeurs de styrène pendant le laminage est presque proportionnel au taux de concentration des vapeurs de styrène détecté pendant l'opération de projection de fibre effectuée juste avant (figure 8.24).

8.4 Synthèse

Les résultats des tests dans l'usine, montrent une bonne réaction du détecteur intelligent des vapeurs de styrène en fonction des opérations effectuées pendant les procédures de fabrication. Il a été bien démontré (23) que la plus grande concentration des vapeurs de styrène se retrouve pendant les opérations de projection des fibres, le laminage ainsi que pendant l'application du Gel Coat. Ceci a été validé par les lectures dans ces zones où on a assisté à des lectures plus élevées à ces endroits.

La réaction du bloc transducteur pendant l'opération de la peinture, nous montre que le capteur peut réagir en présence d'autres sortes de vapeurs organiques ou chimiques que celle des vapeurs de styrènes.

En ce qui concerne le capteur d'humidité de pression et de température, ces derniers ont montré une bonne stabilité dans les lectures et données saisies. On peut remarquer que pendant certain temps (figure 8.22), on a remarqué qu'ils y avaient des perturbations dans les données. Ceci est dû au fait que le système n'est pas adéquatement protégé contre les ondes électromagnétiques et les ondes RF.

Durant les 10 jours de tests, le système d'acquisition de données était fonctionnel même pendant l'arrêt des opérations et la fermeture de l'usine. Nous n'avons eu aucune défaillance pendant la période indiquée. Le protocole ainsi que le système de communication semble être adéquat et n'a pas été perturbé par le déroulement des opérations dans l'usine, ni troublé par les bruits générés par les outils électriques.

Le logiciel d'acquisition et d'affichage des données a été utilisé pour la présentation en temps réel de la concentration de styrène ainsi que l'affichage de la température, l'humidité et la pression. L'enregistrement des variables a été effectué à chaque réception des données des capteurs, aucun mauvais fonctionnement et aucune perte de données n'ont été signalés pendant les tests.

CHAPITRE IX

DISCUSSION

Fiabilité du détecteur intelligent des vapeurs de styrène

Dans le chapitre 6, nous avons suivi une méthodologie pour la prédiction de la fiabilité du détecteur intelligent des vapeurs de styrène. A la fin de cette méthodologie, nous avons estimé le taux de défaillance global du système, et nous avons identifié la contribution de chaque bloc à ce taux. Le tableau 9.1 présente l'estimation du taux de défaillance obtenu pour chaque bloc. Classé par ordre de contribution décroissant, en premier rang, on trouve le capteur d'humidité avec un taux de contribution de 56.91%. Ceci présente le premier bloc critique qui nécessite une analyse dans le but de réduire son taux de défaillance et par conséquent améliorer sa fiabilité.

Si on regarde le tableau 6.7.1 dans le chapitre VI, représentant les composantes du bloc capteur d'humidité, on remarque que le transducteur par lui-même représente un taux de contribution de 98.79% dans le taux de défaillance global du bloc. Donc systématiquement, si on veut améliorer la fiabilité de tout le bloc on doit trouver un transducteur d'humidité d'une meilleure qualité avec une fiabilité accrue.

Tableau 9.1

Taux de défaillance et pourcentage de contribution de chaque bloc

Bloc	$\lambda(\text{fpmh})$	MTBF	% Contribution
Capteur d'humidité	38.52	25 960	56.91
Senseur de Styrene	16.57	60 360	24.47
Bloc d'alimentation	3.003	333 100	4.436
Convertisseur A/N	2.026	493 600	2.993
Micro-contrôleur	1.827	547 400	2.699
Capteur de température et cond.	1.549	645 400	2.289
Convertisseur N/A	0.969	1 032 000	1.432
Senseur de pression	0.8387	1 192 000	1.239
Circuit de ref. Conv. N/A	0.4698	2 129 000	0.6941
Circuit Horl. Conv. A/N	0.4379	2 284 000	0.647
Interface de communication	0.4415	2 265 000	0.6522
Horloge externe	0.3583	2 791 000	0.5294
Etage d'amplification	0.2698	3 706 000	0.3986
Cir. Ref. Conv. A/N	0.2073	4 824 000	0.3062
Cir de ref.	0.2065	4 844 000	0.305

À la suite d'une recherche pour un transducteur de meilleure qualité, la compagnie GENERAL EASTERN offre un capteur d'humidité qui peut avoir un MTBF de 43 800 heures. Cette nouvelle génération de capteurs d'humidité est plus fiable et l'extension de la durée de vie est améliorée en installant un filtre protecteur de la composante qui constitue l'âme du détecteur. Ce filtre du type RH-PSF permet d'empêcher toute introduction des fibres suspendues dans l'air ainsi il offre une protection contre les dégradations dues aux gaz, aux poussières et à toute autre source de dommage.

Il est recommandé aussi, que pour évaluer la fiabilité et vérifier la performance du détecteur d'humidité, il faut planifier une maintenance trimestrielle, permettant de vérifier la calibration de capteur par la comparaison des valeurs affichées à un détecteur de calibrage portatif du type RH-900. Cette opération permettra de détecter toute déviation et assurer une bonne fonctionnalité du système. L'introduction de ce nouveau type de détecteur d'humidité permettra d'augmenter le MTBF de tout le système à 19 060 heures, qui en fonction continue présente une période approximative de 2.175 ans.

Si on exclus le bloc capteur d'humidité de tout le système, ce dernier aura un MTBF de 33 740 heures, autrement dit, si on remplace le détecteur d'humidité à la fin de sa vie utile, on peut assurer une continuité d'opération du reste du système pendant une durée totale de 3.85 ans en fonctionnement continu. Si on

veut améliorer encore la durée de vie du système au delà d'un MTBF de 33 740 heures, on doit regarder en deuxième lieu le bloc qui a le plus haut taux de contribution dans le taux de défaillance total du système. En observant le tableau 9.1 on constate que le bloc capteur de styrène est à la deuxième position dans le rang des blocs critiques. Supposant que le capteur d'humidité ne présente plus la limitation majeure pour la vie du système, on déplace l'attention sur le capteur de styrène, et on regarde les moyens disponibles pour améliorer sa durée de vie. Par analogie avec le capteur d'humidité, si on exclue le capteur de styrène du système on obtient un MTBF de 75 020 heures, ceci nous donne une durée approximative de 8.56 ans de fonctionnement continu du système. Ceci est facilement réalisable si dans le plan d'entretien on se limite aux instructions de calibration et au changement de la pastille à la fin de la durée limite garantie par le constructeur. La fiabilité du capteur du styrène est limitée par la durée de vie de la pastille qui constitue la composante maîtresse du capteur. Si on change cette pièce annuellement, et si on réalise un calibrage chaque trimestre comme conseillé, on peut se prévaloir d'un procédé contrôlé pour l'acquisition des données et d'un moyen pour évaluer la performance du système.

Un des points importants qui a beaucoup d'influence sur le calcul de MTBF est la qualité des composantes. Dans notre cas, ceci ne constitue pas un facteur important, car la qualité des composants est satisfaisante vu que les composants critiques, sont des circuits fabriqués à l'extérieur et qu'on n'a aucun contrôle sur le

niveau de qualité des composants utilisés. Mais dans certains cas, juste le fait de choisir des composantes de meilleure qualité peut nous épargner des complications énormes pour améliorer la fiabilité d'un circuit. Il est évident que cette pratique n'est pas toujours rentable, car on est toujours limité par le niveau actuel de la fiabilité et le niveau projeté, la proportion de cet écart ainsi que de celui des circuits voisins sont les paramètres décisifs du choix.

La phase de la conception et de développement d'un circuit est régie par des règles que le concepteur doit observer et suivre tout le long du développement. En réalité, ces règles constituent des contraintes qui, dans la plupart des cas, peuvent affecter sévèrement la fiabilité du produit développé. La miniaturisation et la réduction continue dans l'espace et le temps alloué pour un circuit sont une tendance dominante dans le développement des produits, ce presque dans tous les domaines de l'électronique. L'une des règles de base de développement est de réduire le nombre de composants qui constitue un circuit donné. Ceci est nettement remarqué dans les produits qu'offrent les fabricants sur le marché aujourd'hui; on trouve de plus en plus des fonctions regroupées dans un seul circuit intégré, qui avec l'utilisation, font réaliser dans la plupart des cas beaucoup d'économies au point de vue espace physique sur le circuit imprimé et par conséquent favorise la réduction des coûts. Cependant l'utilisation de ces circuits intégrés, présente un handicap pour la fiabilité, vu que toutes les fonctions offertes ne sont pas toujours utilisées, et que la miniaturisation fragilise les

composants et restreint leur résistance tant qu'au niveau de l'environnement que de la plage de température d'utilisation. Évidemment, le coût joue toujours un rôle important dans la prise des décisions, mais ce qui échappe souvent au concepteur et le fait que l'augmentation de la fiabilité d'un système ou d'un circuit critique ne passe pas seulement par l'ajout des circuits en redondance et l'introduction des composants de meilleures qualités, mais aussi par le bon choix des circuits appropriés. Ceci peut rapporter des grosses économies de temps, de coût et qui peut donner une fiabilité accrue.

La plupart des mécanismes de défaillances implique un ou plusieurs procédés chimiques ou physiques qui se produisent à un taux qui est directement dépendant de la température. Pour les composants électroniques les réactions chimiques et le mécanisme de diffusion sont à l'origine de la variation des taux de défaillances. Donc la température d'utilisation et la génération de chaleur par les composants constituent des facteurs déterminants qui influencent de très près le niveau de fiabilité d'un système électronique. Chaque composant générant de la chaleur doit être étudié de deux points de vue :

- a) Est-ce qu'il y a un substitut qui génère moins de chaleur
- b) Est-ce que le composant peut être localisé de telle façon, la chaleur générée affecte le moins possible les composants voisins

Pour avoir une température constante et assurer un bon fonctionnement des composants, la chaleur doit être évacuée avec le même taux de génération. Les techniques de refroidissement par convection naturelle ou forcée, conduction et radiation sont souvent utilisées pour les circuits électroniques et sont souvent assez performantes pour maintenir la source de chaleur à la température fonctionnelle désirée.

La méthode employée pour la prédiction de la fiabilité du capteur intelligent des vapeurs de styrènes "Part Stress Analysis Method", est l'une des méthodes les plus utilisées pour évaluer la performance thermique des équipements et de son effet sur la fiabilité d'un composant.

La réduction de la température de fonctionnement des circuits électroniques est l'une des règles primaires pour l'amélioration de la fiabilité. Ceci est généralement possible par la considération thermique pendant la conception, en réduisant l'introduction de la chaleur dans le système, en maintenant la résistance thermique à un niveau minimal de la source à l'interface d'évacuation. Une conception adéquate est celle qui permet de maintenir la température des composants à l'intérieur de leurs limites dans la plage prescrite permise de fonctionnement du système.

En considérant ce facteur critique et son influence sur les composants électroniques, on remarque que chaque composant réagit différemment à l'augmentation de la température d'utilisation; ceci est dû au matériau de fabrication et à la charge appliquée. Le calcul du taux de défaillance du capteur intelligent des vapeurs de styrène a été réalisé avec l'hypothèse que la température de fonctionnement ambiante est de 25°C. Si on varie la température ambiante, le taux de défaillance du système varie lui aussi. Le tableau 9.2, nous montre le taux de variation de chaque bloc, avec une augmentation de 10 °C dans la température ambiante.

On remarque que bien que le niveau de variation du taux de défaillance soit différent d'un circuit à un autre, ceci est bien lié à la composition de chaque composant, au niveau d'utilisation et au niveau du stress appliqué. Si le capteur intelligent des vapeurs de styrène est tenu loin des sources de chaleur lors de l'installation ou le stockage, le MTBF reste autour de la valeur calculée pour une température de 25 °C, car la température ambiante dans l'usine est assez stable et varie généralement entre 20 et 25 °C.

Tableau 9.2

Augmentation du taux de défaillance en fonction de la température ambiante

Bloc	$\lambda(\text{fpmh})$ à 25 °C	$\lambda(\text{fpmh})$ à 35 °C	% d'augmentation
Capteur d'humidité	38.52	38.65	0.33
Senseur de Styrène	16.57	16.61	0.24
Bloc d'alimentation	3.003	3.814	27.00
Convertisseur A/N	2.026	3.024	49.25
Micro-contrôleur	1.827	2.503	37.00
Capteur de température et cond.	1.549	2.12	36.86
Convertisseur N/A	0.969	1.328	37.04
Senseur de pression	0.8387	1.136	35.44
Circuit de ref. Conv. N/A	0.4698	0.6659	41.74
Circuit Horl. Conv. A/N	0.4379	0.6607	50.87
Interface de communication	0.4415	0.5422	22.80
Horloge externe	0.3583	0.4832	34.85
Etage d'amplification	0.2698	0.3722	37.95
Cir. Ref. Conv. A/N	0.2073	0.3057	47.46
Cir de ref.	0.2065	0.3049	47.65

L'établissement des courbes, des tableaux comparatifs et l'étude du comportement de chaque bloc en fonction de température peut donner une meilleure compréhension sur la variation du taux de défaillance en fonction de la fluctuation de la température. Ces courbes sont une source importante pour identifier les blocs qui sont sensibles à la variation de la température et poser les actions nécessaires pour améliorer leur fiabilité. Dans certains cas, par l'intermédiaire de cet outil, on peut spécifier la plage de température de fonctionnement d'un produit et établir des indices de fiabilité du système lors d'une utilisation en dehors ou au delà de limites spécifiées de fonctionnement.

Les figures 9.1 à 9.15 montrent la variation du taux de défaillance de chaque bloc circuit du capteur intelligent des vapeurs de styrènes, dans la plage de température de 10 à 50 °C.

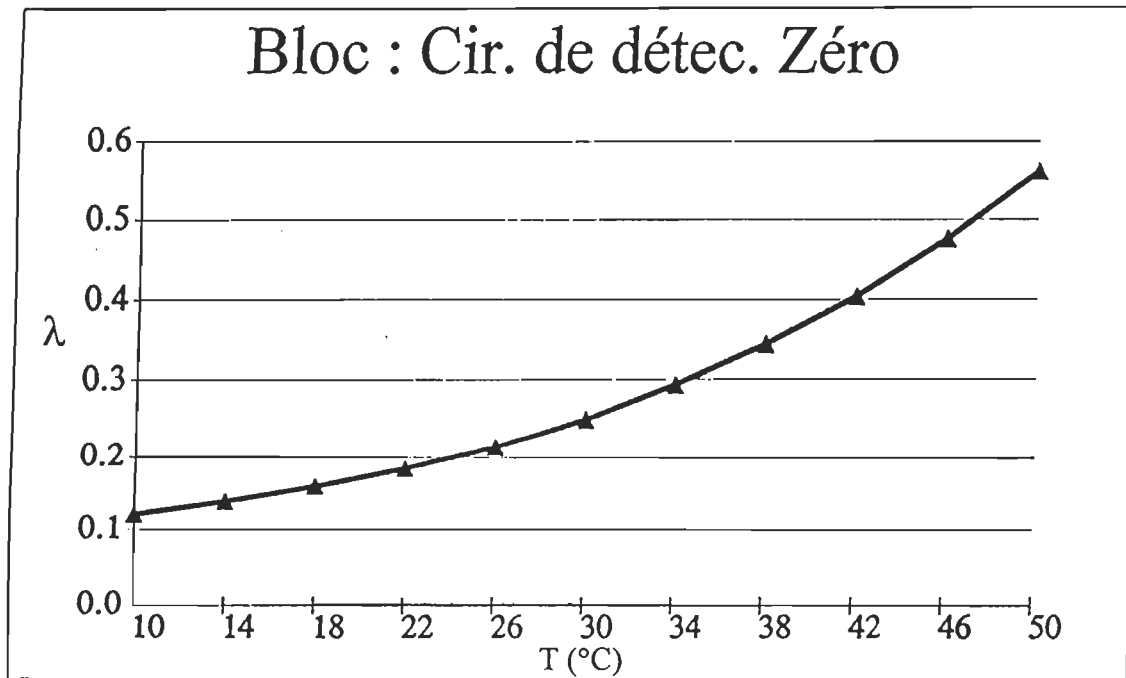


Figure 9.1 Variation du taux de défaillance du circuit de détection de zéro en fonction de la température

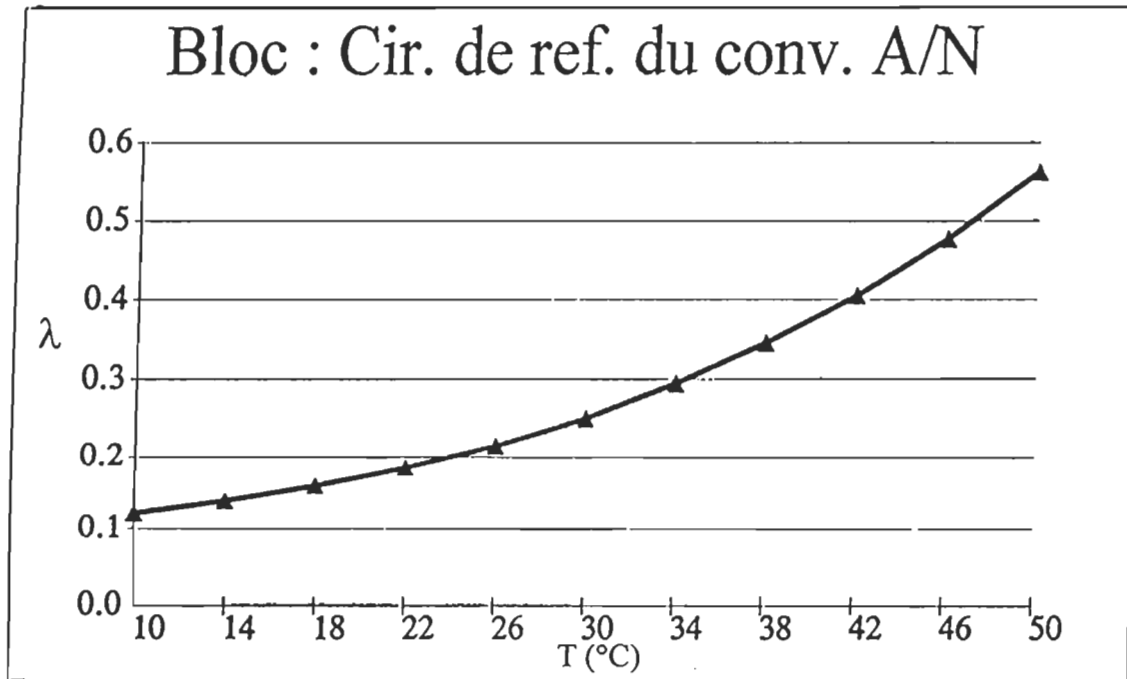


Figure 9.2 Variation du taux de défaillance du circuit de référence du convertisseur A/N en fonction de la température

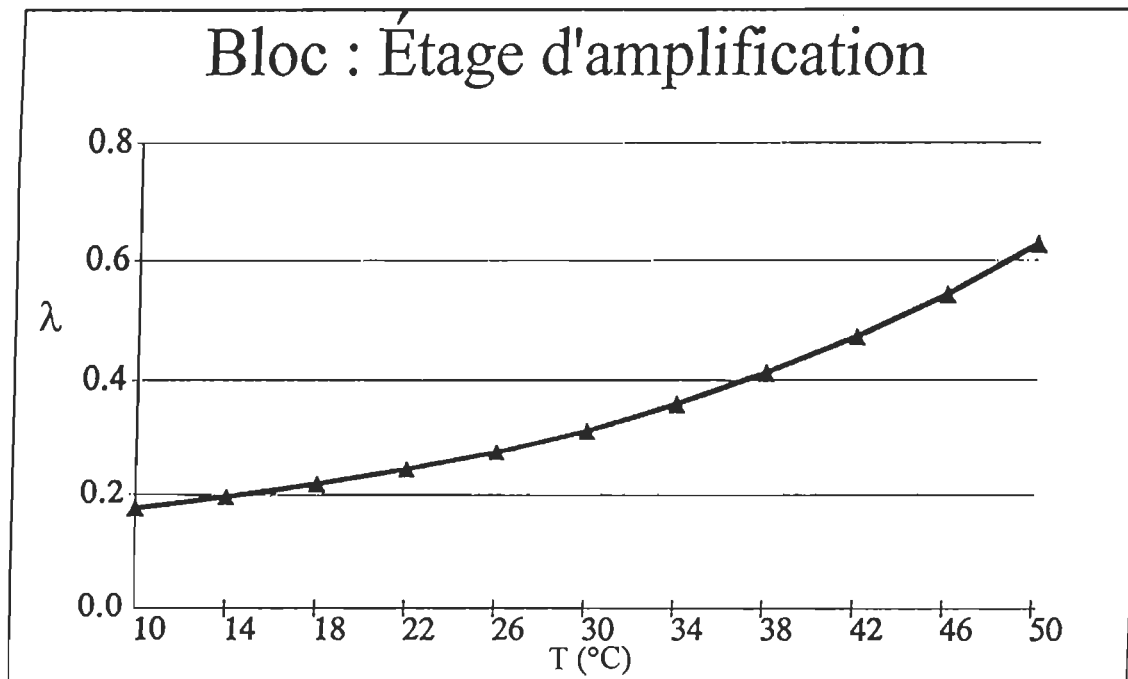


Figure 9.3 Variation du taux de défaillance du circuit étage d'amplification en fonction de la température

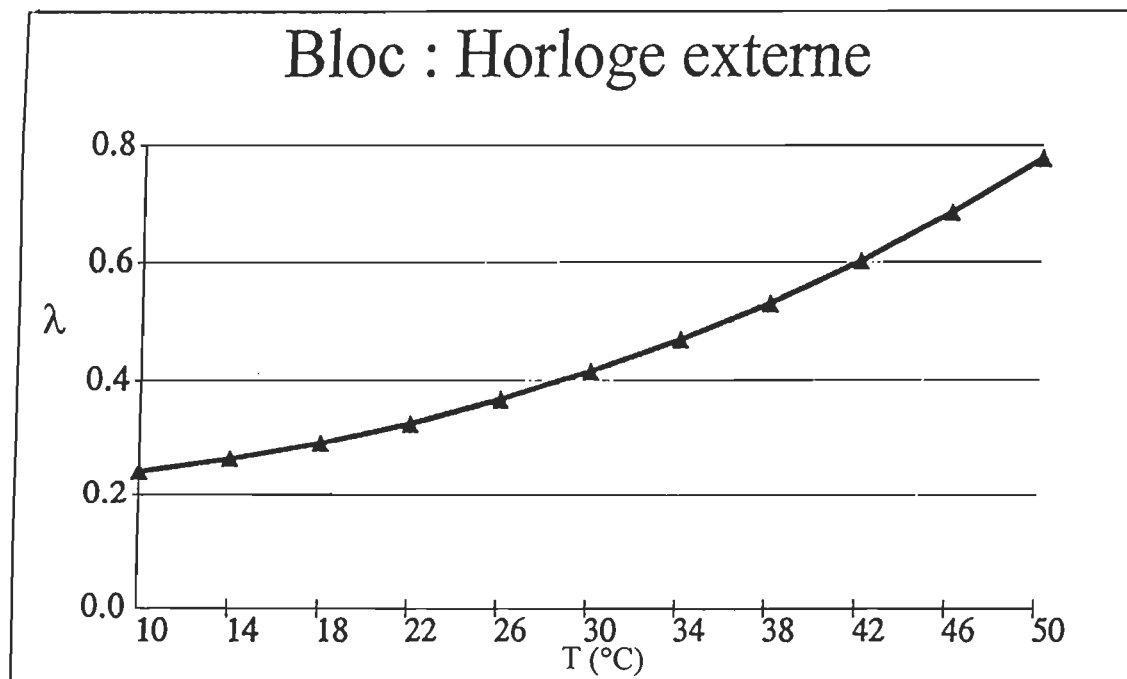


Figure 9.4 Variation du taux de défaillance du circuit de l'horloge externe en fonction de la température

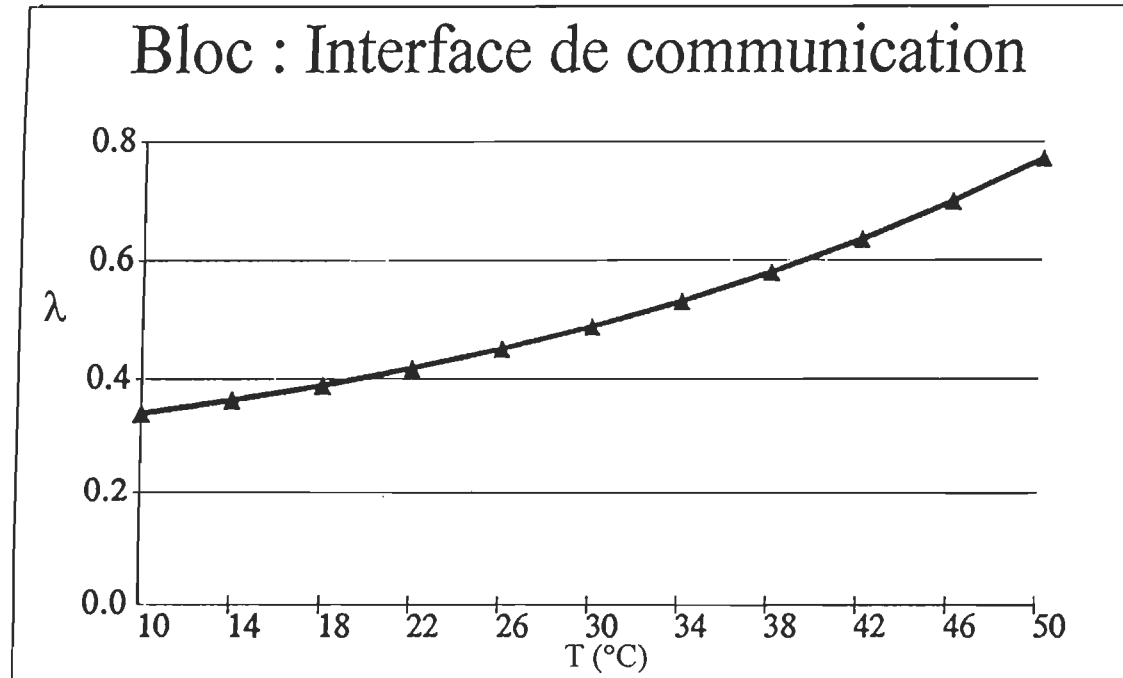


Figure 9.5 Variation du taux de défaillance du circuit de l'interface de communication en fonction de la température

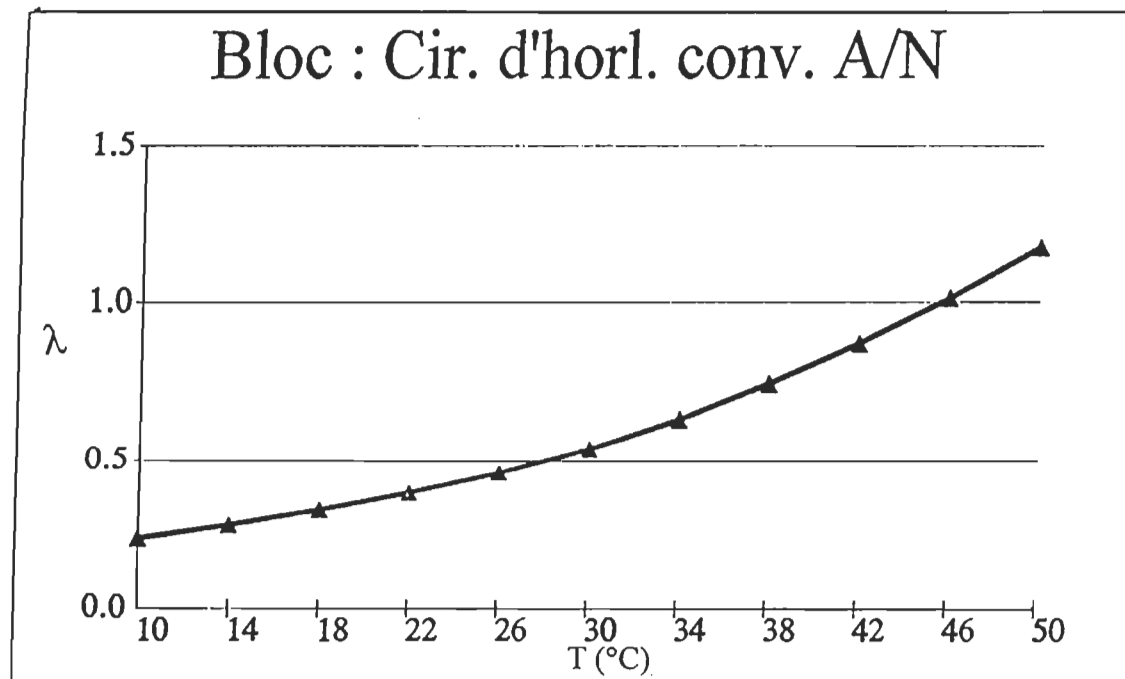


Figure 9.6 Variation du taux de défaillance du circuit de l'horloge du convertisseur A/N en fonction de la température

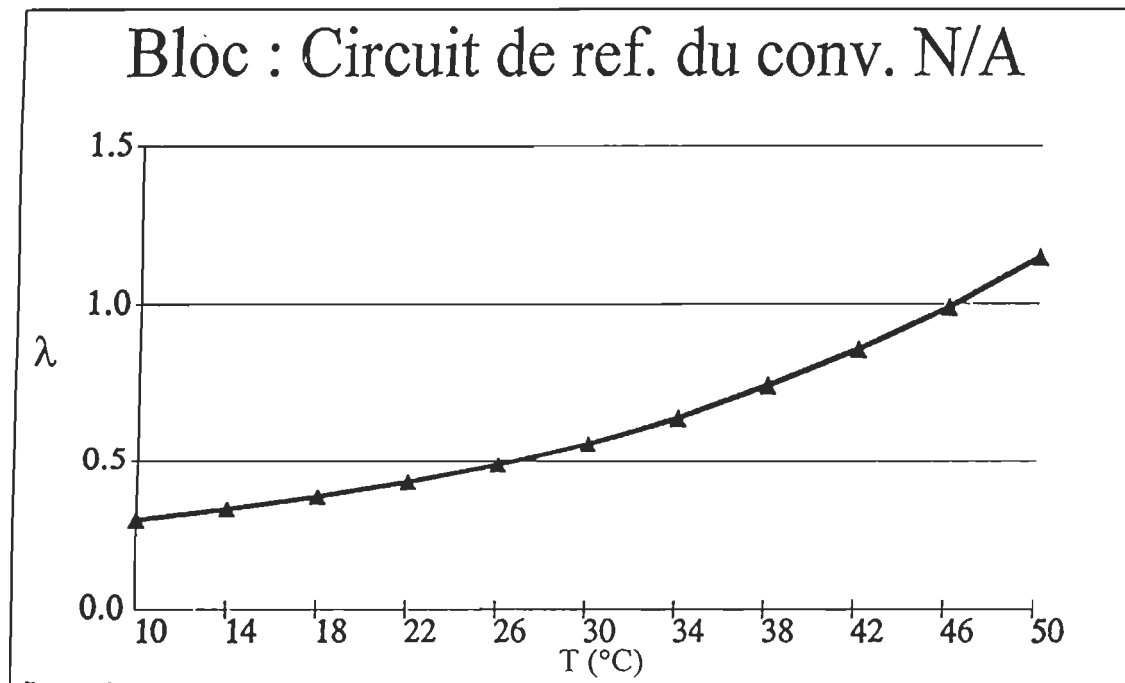


Figure 9.7 Variation du taux de défaillance du circuit de référence du convertisseur N/A en fonction de la température

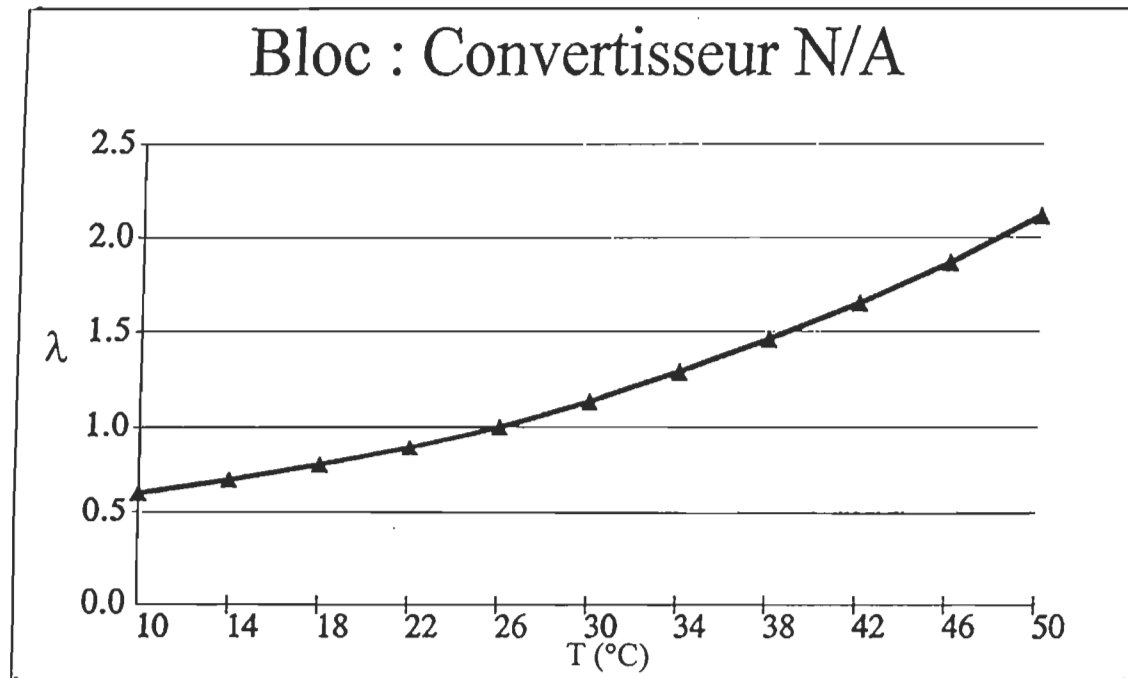


Figure 9.8 Variation du taux de défaillance du convertisseur N/A en fonction de la température

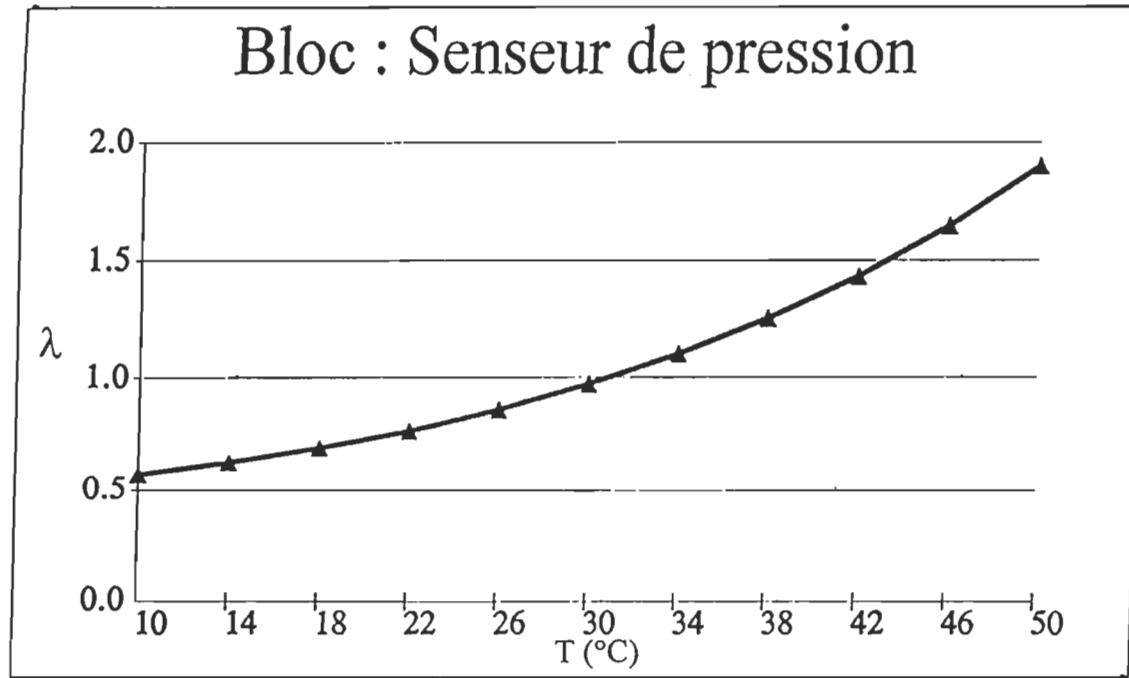


Figure 9.9 Variation du taux de défaillance du circuit senseur de pression en fonction de la température

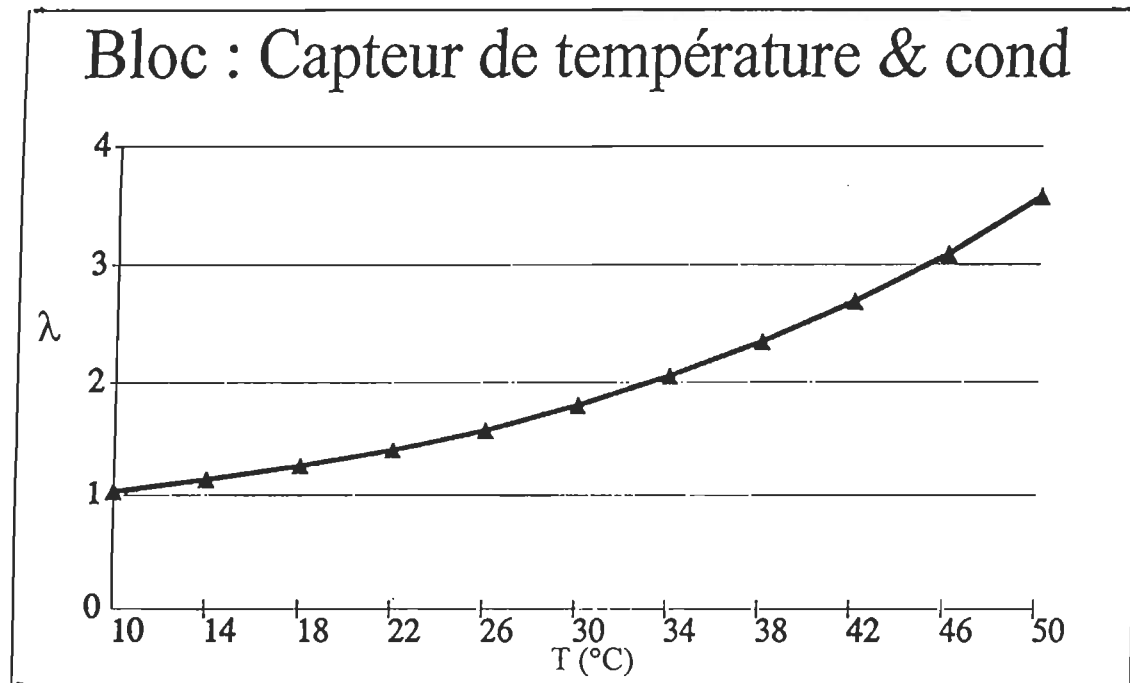


Figure 9.10 Variation du taux de défaillance du circuit capteur de température en fonction de la température

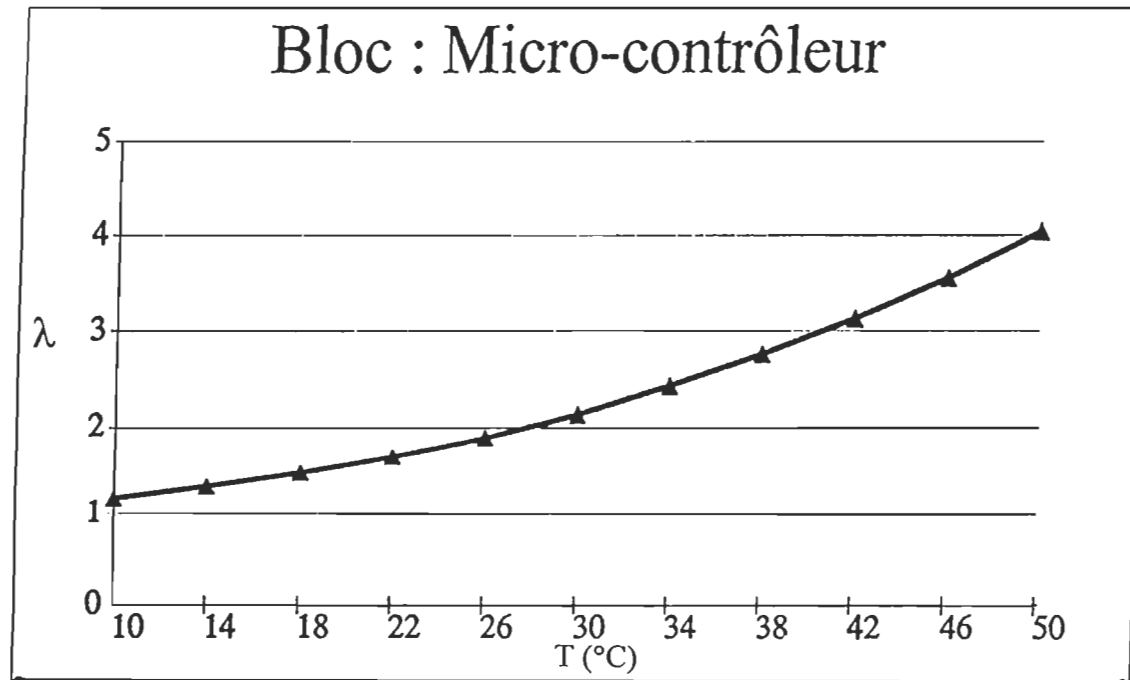


Figure 9.11 Variation du taux de défaillance du circuit du micro-contrôleur en fonction de la température

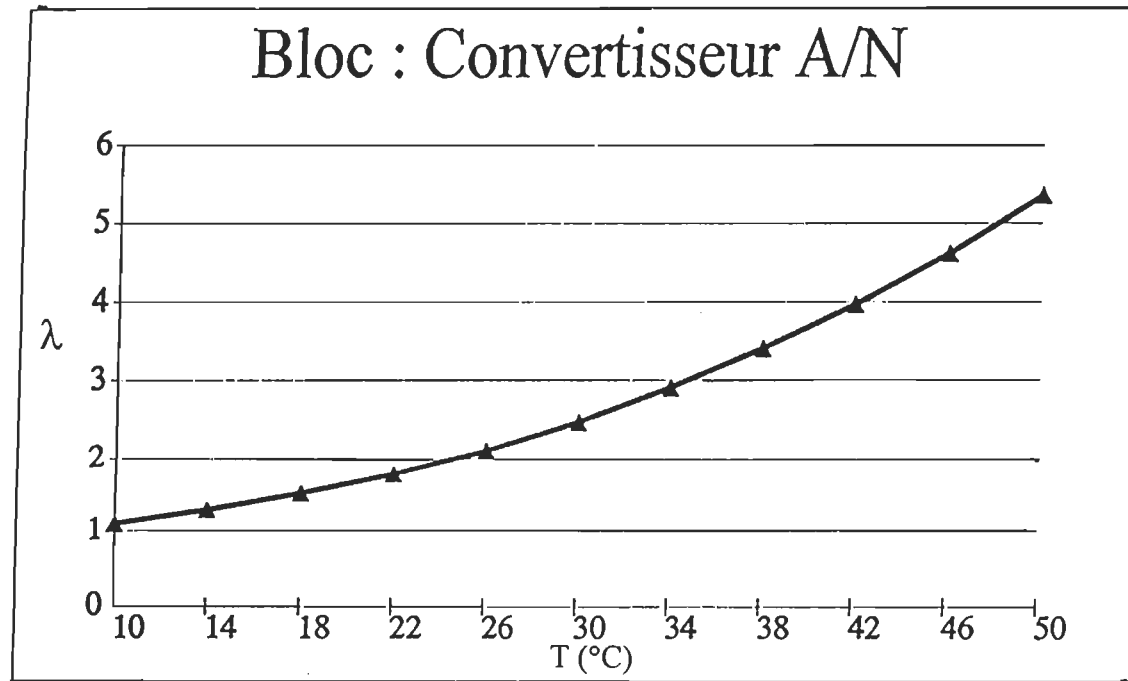


Figure 9.12 Variation du taux de défaillance du circuit du convertisseur A/N en fonction de la température

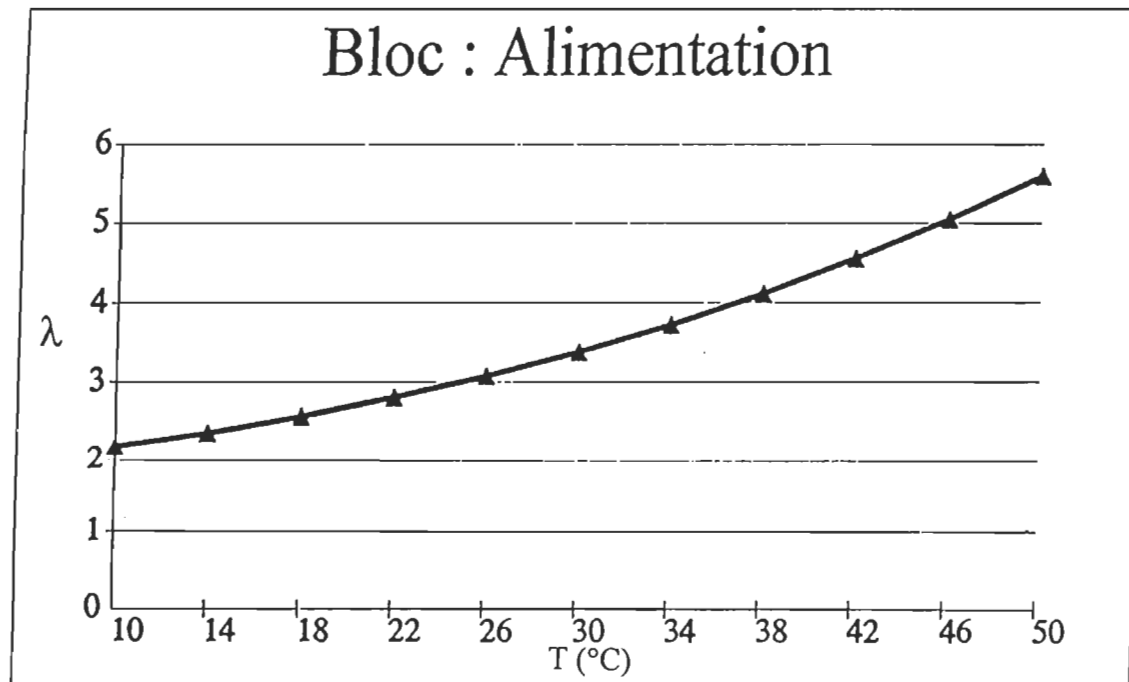


Figure 9.13 Variation du taux de défaillance du circuit d'alimentation en fonction de la température

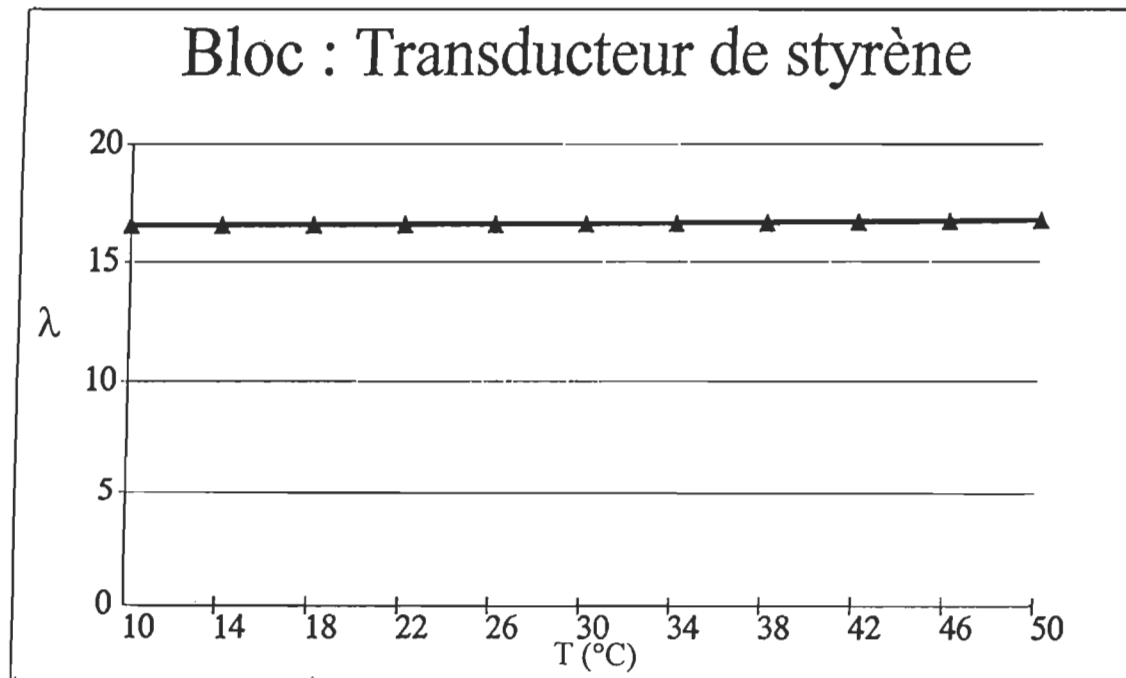


Figure 9.14 Variation du taux de défaillance du circuit du transducteur de styrène en fonction de la température

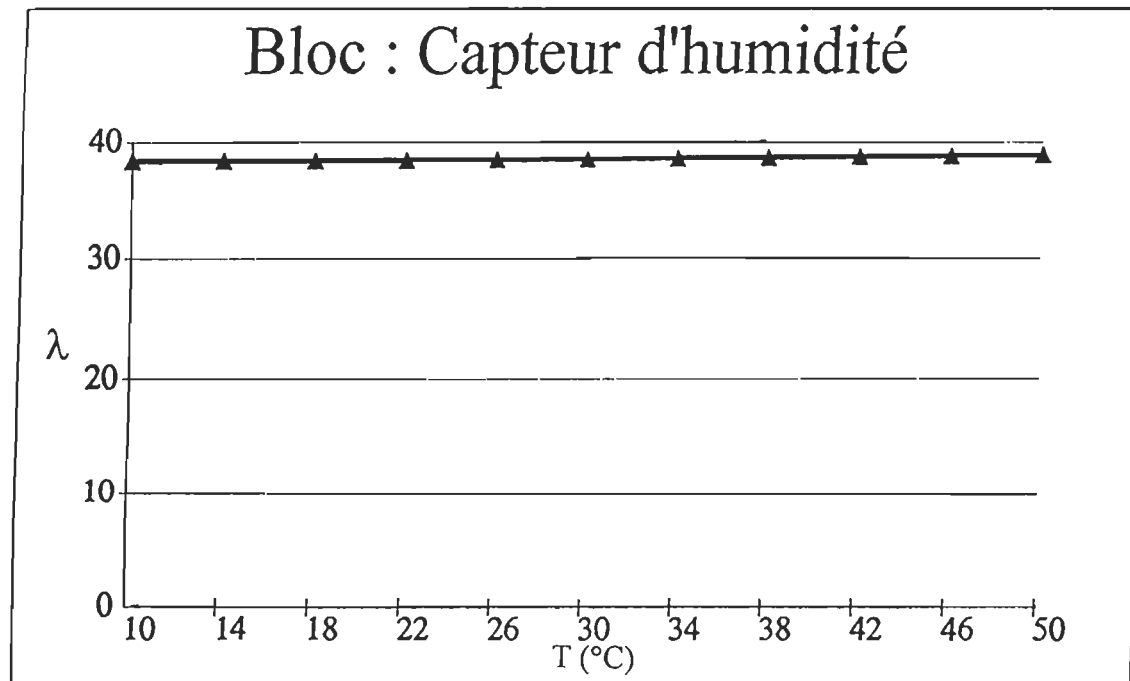


Figure 9.15 Variation du taux de défaillance du circuit du capteur d'humidité en fonction de la température

La variation de la température peut jouer un rôle important dans la variation du taux de défaillance, mais elle n'est pas la seule variable qui puisse affecter le taux de défaillance. Un des facteurs qui affecte aussi la sensibilité des composants électronique est le taux d'utilisation ou le niveau du stress appliqué au composant relativement au niveau maximum recommandé par le constructeur. Le niveau de stress est relié à la tension ou au courant du composant, autrement dit à la puissance d'utilisation en fonction de la puissance maximale supportée.

La figure 9.17 montre la variation du taux de défaillance du capteur intelligent des vapeurs de styrène en fonction de la variation du niveau du stress appliqué aux composants. Cette courbe est à titre indicatif seulement, car le niveau de stress de chaque composant est strictement différent d'un composant à un autre et d'une application à une autre et varie en fonction du rôle joué dans le circuit. La figure 9.16 montre la variation de taux de défaillance du capteur intelligent des vapeurs de styrène en fonction de la température, on remarque bien que la variation de la température a plus d'effet sur le taux de défaillance que le niveau du stress, bien que dans certain cas la température du composant et le niveau du stress sont directement reliés à la puissance d'utilisation. Dans la plupart des circuits électroniques, l'élévation de la température est de plus en plus contrôlée et est prise en considération; car la puissance et la miniaturisation sont des critères de sélection pour la conception et la fabrication des nouveaux produits.

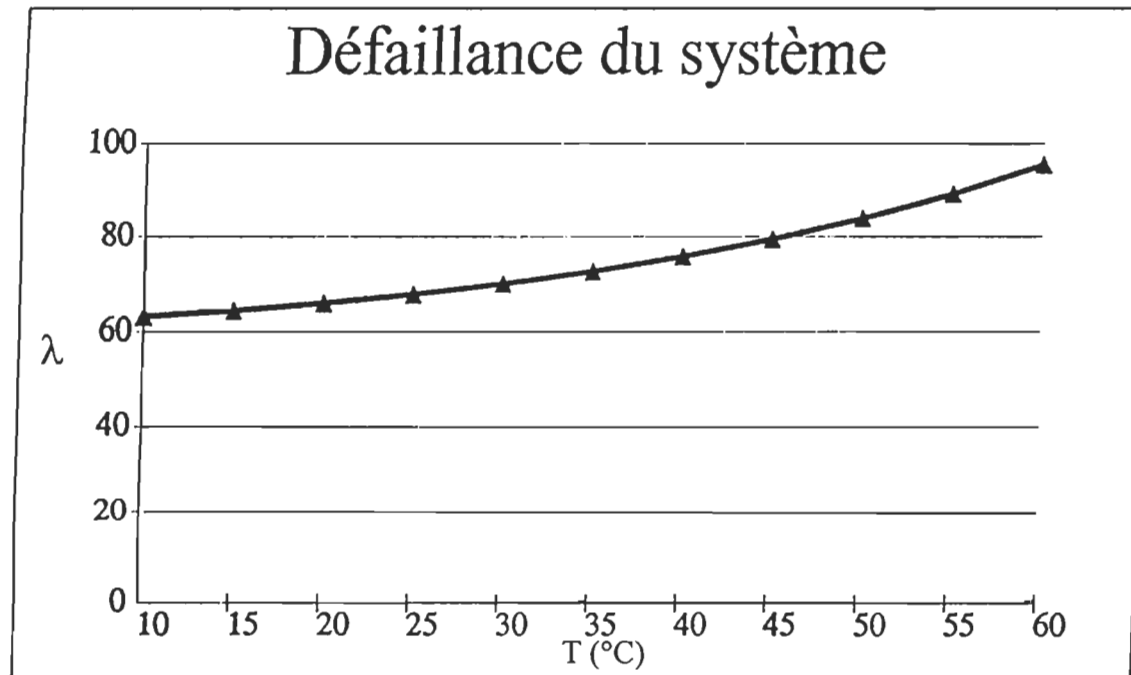


Figure 9.16 Variation du taux de défaillance du capteur intelligent des vapeurs de styrène en fonction de la température

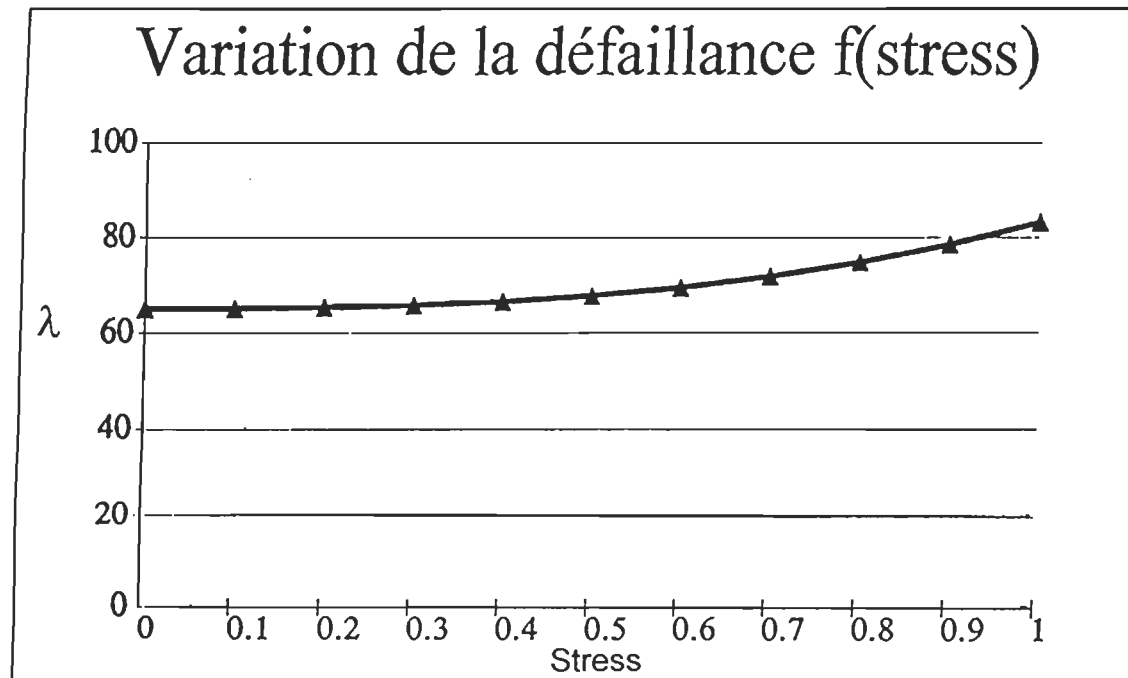


Figure 9.17 Variation du taux de défaillance du capteur intelligent des vapeurs de styrène en fonction du niveau du stress appliqué aux composants.

Dans les industries ou les procédés de fabrication impliquant des dégagements des vapeurs chimiques ou organiques, une protection du matériel s'impose pour limiter la dégradation des composants. Les composants électroniques sont sensibles aux vapeurs et au gaz présents dans l'atmosphère, car il est généralement produit à partir des métaux et du plastique.

Sans aucune protection adéquate, les composants électroniques se fragilisent et ceci mène à une défaillance prématurée, causée par l'oxydation des pièces métalliques et un changement dans les caractéristiques du plastique, qui généralement se caractérise par l'apparition des micro fissures aux surfaces. Ce phénomène est dû principalement à la réaction avec les substances chimiques trouvées dans l'air et par l'humidité présente dans l'atmosphère.

Il est à noter que dans les industries de fibre de verre comme celle de Lyster où les tests de validation ont été effectués, on trouve beaucoup de poussières et de fibre présentes dans l'air. A long terme ces fibres s'introduisent dans le boîtier et se déposent sur le circuit et peuvent devenir une source de défaillance pour le système. Cette défaillance se traduit par une obstruction des orifices de détection pour le capteur de styrène, d'humidité et de pression, sans autant oublier que ce dépôt peut altérer le bon fonctionnement du circuit électronique et peut être la cause de génération des bruits et parfois même des court-circuits.

Si on réfère aux courbes obtenues dans l'usine de Lyster, on remarque que pendant l'acquisition des données on a détecté des lectures anormalement élevées. Ceci montre bien la sensibilité de la ligne de transmission de données ou des circuits électroniques à certains agresseurs extérieurs. Ces derniers s'identifient principalement par le brouillage électromagnétique (EMI) et le brouillage radioélectrique (RFI). Bien que les blocs capteurs soient montés dans un boîtier métallique qui peut offrir un certain blindage, ceci ne présente pas un bouclier assez efficace contre ces agresseurs. Il se peut aussi que les mauvaises connexions ou un manque de protection pour certains composants soient à l'origine de ce type de perturbation.

À l'annexe 3 on trouve des tableaux qui résument l'effet de chaque variable environnementale et les techniques à appliquer pour la protection contre ces agresseurs.

Pendant les tests d'acquisition de données dans l'usine, on a remarqué une réaction du capteur des vapeurs de styrène lors de l'opération de peinture. Ceci soulève un point important sur la sélectivité du capteur du styrène utilisé. Ce point est d'une importance primordiale, car le développement de ce bloc capteur était principalement effectué pour besoin d'identification des vapeurs de styrène. Bien que même si le système ne puisse réaliser sa mission pour les vapeurs de

styrène, il est facilement convertible pour l'adaptation pour d'autres types de gaz. Le fait que le système a une très bonne flexibilité, lui donne une très grande utilité dans presque tous les secteurs qui demandent un contrôle continu de l'environnement et la qualité de l'air.

Cependant l'identification des gaz présents dans un type d'industrie peut être réalisés et des corrections peuvent être ajoutées en fonction des réponses du capteur. Une utilisation dans un endroit spécifique relativement isolé (chambre de laminage par exemple) donne des bonnes résultats pour la détection des vapeurs de styrène, car le capteur est relativement loin des autres sources d'interférences. Même encore là, les résultats obtenus par le système devraient être validés par la comparaison avec des échantillons d'air analysés par chromatographie pour évaluer la sélectivité du capteur et voir si d'autres types de gaz sont présents pendant une opération donnée. Ces données n'ont pas été encore compilées au moment du dépôt de ce mémoire.

Pendant toute la durée des tests dans l'usine, l'acquisition des données s'est déroulé pendant 10 jours, et nous n'avons remarqué aucun problème de communication ni de transmission. Il faut bien mentionner que des tests au laboratoire ont montré que le protocole de communication est assez stable et n'a présenté en aucun cas un problème, cependant les tests ont été effectués avec deux blocs dans le laboratoire et un seul bloc dans l'usine. La validation de la

fiabilité du système en réseau n'est pas toutefois démontrée si on ne réalise pas des tests avec une série de blocs capteurs. Une simulation d'une dizaine de blocs serait assez représentative, le but de cette simulation étant de valider le système de transmission de données, le protocole de communication et l'interaction des blocs entre eux. L'augmentation des intervenants sur la même ligne de transmission peut créer des problèmes de transmission ou de réception et permet d'identifier les problèmes liés à la gestion des données.

Le protocole de communication est basé sur le principe que tous les blocs soient en écoute continue, dès que l'un d'eux reconnaît son numéro d'identification, il envoie les données sur la ligne de transmission. Ce protocole ne permet pas à un capteur d'interrompre toute communication pour signaler une urgence ou envoyer un message prioritaire. L'option de communication entre blocs capteur n'est pas disponible pour le moment, ceci pourrait être une bonne approche pour permettre une vérification ou encore même une amélioration de la disponibilité si un des capteurs présente un problème de fonctionnalité.

Au niveau de l'intelligence locale de chaque bloc capteur, ce dernier a une bonne capacité d'analyse de donnée et de prise de décision. Par contre, la sortie linéaire de chaque bloc sera reliée à une interface d'alerte ou de correction selon le besoin, l'utilisation offre une grande possibilité pour plusieurs possibilités de protection et de rectification.

L'analyse des données effectuée par le capteur intelligent fait intervenir des fonctions de linéarisation spécifiques à chaque capteur. Les données recueillies par ces capteurs sont d'une bonne précision et pourrait être facilement partagées avec d'autres systèmes. En milieu industriel, le capteur d'humidité, de pression et de température ont comme fonction que de faire les lectures et permettre un affichage à l'écran, l'introduction de ces variables dans la correction de lecture ajoute une nouvelle dimension pour l'exactitude des données.

Le capteur de pression de type relatif, ne présente pas un choix adéquat dans ce système. L'utilisation dans le milieu industriel ne présente aucun intérêt, car les lectures seront toujours au même niveau puisque ce capteur ne détecte aucune variation au milieu ambiant. L'utilisation d'un capteur de pression absolue avec une sensibilité importante dans la plage de la pression atmosphérique pourra donner un meilleur résultat, si une investigation d'une faible variation au niveau de la pression atmosphérique montre une fluctuation raisonnable pour la concentration du styrène.

Les tests dans l'usine ont montré une bonne réponse du système, la position du capteur intelligent des vapeurs de styrène à différents points et à des hauteurs différentes a été choisie dans le but de couvrir l'ensemble de l'usine et d'identifier les zones critiques. Si pendant ces tests un minimum de deux blocs

capteurs a été utilisé, on aurait pu voir la différence de concentration au même point mais à des hauteurs différentes, ceci nous donnera une meilleure idée sur la hauteur optimale de placement de blocs capteurs. La hauteur ainsi déterminée permettra de prendre les moyens nécessaires de protection du module en fonction de la localisation des sources de contamination. Bien que théoriquement nous sachions que le styrène est plus dense que l'air et qu'il a tendance à se stagner au niveau du sol, ceci peut aussi nous fournir des indices sur l'emplacement des bouches de ventilation et d'aération.

Un des points importants qui n'a pas été traité dans la prédiction réalisée et celui de la fiabilité du programme (software). Cette partie consiste a elle-même un sujet intéressant de recherche pour analyser et évaluer les méthodologies proposées jusqu'aujourd'hui pour la détermination de la fiabilité d'un programme. Une simple présentation sommaire de la complexité de ce problème est montrée dans la revue bibliographique, uniquement dans le but de se pencher sur le progrès réalisé dans ce domaine.

Le capteur intelligent des vapeurs de styrène à sa version actuelle, offre un très intéressant outil pour l'échantillonnage de l'air en temps réel. Une utilisation dans un milieu ambiant autour de 25 °C, et avec un plan d'entretien suivant la recommandation du manufacturier pour le détecteur d'humidité et de styrène donne un MTBF de 75 020 heures ou une durée approximative de 8.56 ans de

fonctionnement continu du système. Des protections et des corrections supplémentaires peuvent accroître la fiabilité du système actuel, lui conférer une meilleure sélectivité et permettre un meilleur taux d'utilisation des fonctions qu'elle offre.

CHAPITRE X

RECOMMANDATION

10.1 Recommandations générales

Le capteur intelligent des vapeurs de styrène présente un système assez performant dans sa version actuelle. Sa fiabilité peut être améliorée par l'introduction et l'ajout de quelques actions correctives dans le but d'augmenter sa flexibilité et sa résistance aux agresseurs de l'environnement industriel.

Le capteur d'humidité et le capteur de styrène représentent les deux points critiques pour la fiabilité du système. Un plan d'entretien trimestriel serait nécessaire pour la vérification et le contrôle. La recommandation du fabricant est de changer le capteur d'humidité chaque 3 ans et de vérifier la performance avec un lecteur portatif, ainsi que l'installation d'un filtre projectif de la pastille permet de prolonger considérablement la vie du produit.

Pour le capteur de styrène, une calibration aux trois mois est nécessaire pour ajuster toute déviation et permettre des résultats fiables. L'utilisation de

l'ensemble de calibration P/N 8000, tel que décrit dans la brochure de l'installation et d'opération du capteur de styrène, est très recommandé pour une utilisation dans l'usine. Il se peut que le capteur de styrène soit contaminé par des gaz qui peuvent affecter les lectures, dans ce cas un nettoyage de la pastille dans de l'acétone est recommandé. Généralement pour avoir une bonne performance du capteur de styrène il faut bien suivre les procédures de calibration et d'installations spécifiées dans le document accompagnant chaque capteur.

Pour résoudre le problème de sélectivité du capteur du styrène, une identification des tous les gaz présentes dans l'usine doivent être effectués. Cette opération permettra de voir si le capteur est sensible à ces gaz et d'établir l'influence de ces gaz sur les lectures. Dans le cas où l'identification d'un ou de deux gaz qui interfèrent avec le détecteur, des tests en laboratoire peuvent nous permettre de trouver une relation entre la concentration de styrène et la concentration de ces gaz. Ceci est possible en ajoutant un capteur pour le gaz interférant, où par l'introduction de ce dernier dans le bloc capteurs on obtient une très bonne exactitude du capteur du styrène. C'est ainsi que des corrections peuvent être apportées sachant la concentration de chaque gaz et la relation déjà établie en laboratoire. Bien que cette solution paraisse simple, le défi réel réside dans la détermination de la relation entre les concentrations des gaz et les lectures prélevées et l'établissement du niveau de la concentration du styrène. L'instauration de ces relations sont bien uniques pour chaque type d'usines ou de

secteur d'activité, vu que même dans les usines où on trouve le même type de produit fabriqué, il n'est pas systématique que les produits et le matériel utilisés pour la fabrication sont identiques.

Actuellement, le capteur intelligent des vapeurs de styrène n'a aucune protection contre ces agresseurs. Même si les circuits électroniques sont montés dans un boîtier fermé, les ouvertures nécessaires pour les capteurs installés à l'intérieur du boîtier sont un accès pour l'infiltration des contaminants jusqu'aux circuits électroniques.

La fiabilité du système est reliée à sa résistance à l'environnement, autrement dit un processus pour l'identification des facteurs environnementaux et la détermination de leurs impacts dès l'étape de la conception est primordial. Car c'est à cette étape qu'il faut sélectionner les composants convenables et identifier les techniques nécessaires pour offrir une protection contre ces agresseurs dégradants. L'annexe 4 comporte une liste de vérification (Reliability Design Checklist) qui peut servir comme aide à l'identification et la validation de certains points reliés à la fiabilité avant le passage à la production.

Pour améliorer l'efficacité du capteur intelligent de styrène, il se doit de lui donner une protection contre le brouillage électromagnétique (EMI) et le brouillage radioélectrique (RFI), cette protection est assurée par le blindage des composants

sensibles, voire même tout le circuit, par l'installation dans un boîtier métallique constituant une cage de Faraday. Les autres sources de bruits doivent être résolus, comme les problèmes reliés à la boucle de masse, le blindage du câble de communication et à la protection des circuits contre la surtension et la tension inverse.

Au point de vue communication et protocole, ce dernier a montré une efficacité sans doute, par contre l'ajout d'une option d'intervention en cas de danger dans le cas d'une installation en réseau est très pratique. Cette option de privilège ou de priorité donne au capteur le pouvoir de changer momentanément la règle de communication et signaler à l'ordinateur un état de danger ou une situation particulière. Ceci augmentera l'efficacité du système et rendra l'intervention et la prise de décision plus rapide.

Au niveau du bloc capteur, beaucoup de possibilités d'amélioration de la performance sont réalisables. L'ajout d'une procédure d'auto diagnostic permettra de tester l'intégrité des blocs et la fonctionnalité. On peut même munir l'ensemble des blocs d'un moyen pour identifier les anomalies de fonctionnement et isoler les circuits défectueux. Une approche intéressante est aussi envisageable, celui de permettre une communication entre les blocs capteurs. Si un capteur détecte une anomalie de fonctionnement, il peut envoyer les données recueillies à un capteur voisin pour les analyses et prendre en charge l'envoi des données. On peut même

instaurer une routine de vérification entre les capteurs et une stratégie de fonctionnement en cas de défaillance. Sans doute, ceci implique la modification du circuit actuel, le changement du cheminement de l'information et l'augmentation du nombre des composants, voire même la considération d'autre protocole de communication. Cependant avant toute aventure d'introduction il faut bien analyser les avantages et l'inconvénient d'une telle modification, car une telle approche ajoute une difficulté au niveau de la gestion du réseau et augmente considérablement le nombre des composants électroniques, qui dans le plus part des cas résulte à une augmentation du taux de défaillance. Si cela paraît profitable pour le système et le nombre de capteurs installés en réseau prend de l'importance, on peut diviser le système en sous groupe constituant un bloc capteurs maître et des blocs de plus bas niveau qui au lieu d'envoyer les données à l'ordinateur, ils transmettent les informations au capteur maître pour l'analyse. Cette configuration permet d'utiliser un seul bloc à sa version actuelle comme bloc maître et de réduire le nombre des composants dans tous les blocs restants. Ceci permettra d'augmenter la fiabilité de l'installation en réseau et de réduire le coût sans autant influencer le niveau de performance du système.

L'implantation de ce bloc capteur en réseau, donne de nombreuses possibilités d'utilisation et de contrôle, non seulement pour la détection des vapeurs de styrène, mais aussi pour tout autre type de gaz dangereux. Le

système d'acquisition avec les blocs capteurs peut prendre en charge tout le système de ventilation et de chauffage.

10.2 Recommandation pour la fabrication d'un nouveau prototype

Pour avoir une meilleure résistance des circuits électroniques à la dégradation causée par l'attaque des gaz, une protection avec une couche isolante est recommandée. Appelé (Conformal Coating), cette pratique est largement utilisée dans l'industrie d'électronique où une protection des circuits contre l'humidité et les agresseurs environnementaux est nécessaire. Parmi les produits les plus populaires, on peut utiliser le 1 A33 de la compagnie (Humiseal), ce produit à base d'acrylique donne une protection est une résistance efficace contre les produits chimiques.

Un autre moyen plus efficient consiste à couler les circuits dans de l'uréthane liquide qui se solidifie dans une période de 24 heures. Cette encapsulation permet une meilleure protection contre les produits chimiques et surtout contre les vibrations et les chocs mécaniques. Généralement, une protection contre les vibrations ne paraît pas nécessaire dans le milieu où le capteur intelligent des vapeurs de styrène sera utilisé, mais ceci est important pendant le transport et l'installation. Les composants peuvent être soumis à des fréquences et des amplitudes assez élevées pendant le transport, ce qui peut causer une défaillance du système avant installation. Le choix de l'encapsulant est très important, car avec la variation de la température celui-ci peut engendrer des

pressions causées par la différence dans le coefficient d'expansion thermique, qui à son tour peut engendrer des défaillances prématurées des composants.

Un autre point important à considérer, est la résistance à la variation des pressions, généralement pour le transport par avion- cargo; ce dernier n'est pas pressurisé, et les composants sont assujettis à des faibles pressions. Si le composant inclut une très petite cavité d'air, il peut résulter des contraintes internes causées par la différence de pression; donc la qualité des composants joue un grand rôle dans la survie d'un système.

Pendant le procédé d'identification des facteurs de dégradation environnementaux et de fonctionnement, il est essentiel de prendre en considération toutes les étapes de vie du produit. Ceci inclus non seulement les facteurs d'opération et de maintenance, mais aussi les facteurs préopératoires, ou le stress imposé pendant la fabrication, l'inspection, les tests, l'expédition et l'installation ont des importants impacts sur la fiabilité du produit.

Le stress durant les phases préopératoires est souvent oublié ou négligé, cependant il peut représenter des conditions très sévères. Souvent les conditions où le module est exposé pendant le transport et l'installation sont plus sévères que celles rencontrées dans le milieu de fonctionnement normal.

Le stress environnemental peut affecter les composants de différentes façons; dans la réalité, plusieurs facteurs de stress coexistent ensemble et dans certains cas on assiste à une amplification des facteurs dégradants. L'annexe 3, présente des tableaux descriptifs des effets combinés des facteurs environnementaux.

La figure 10.1 montre une proposition de montage d'un nouveau prototype. Pour avoir une protection contre la contamination par les gaz et vapeurs présents dans l'environnement, on coule les circuits dans de l'uréthane, ceci permet également une protection contre les vibrations et les chocs pendant le transport et l'installation. Le boîtier métallique permet une protection contre le brouillage électromagnétique (EMI) et le brouillage radioélectrique (RFI). L'installation des connecteurs pour l'alimentation, la communication et les interfaces sur la paroi du boîtier, enlève tout risque de dommage transmis à la carte pendant l'installation et le fonctionnement. Le branchement par connecteur des capteurs permet une facilité pour la maintenance et une diminution de risque de dommage pour le circuit imprimé. Le fond de boîtier contient des petites ouvertures protégées par un grillage contre les infiltrations des fibres, ceci réduit le risque de contamination des capteurs.

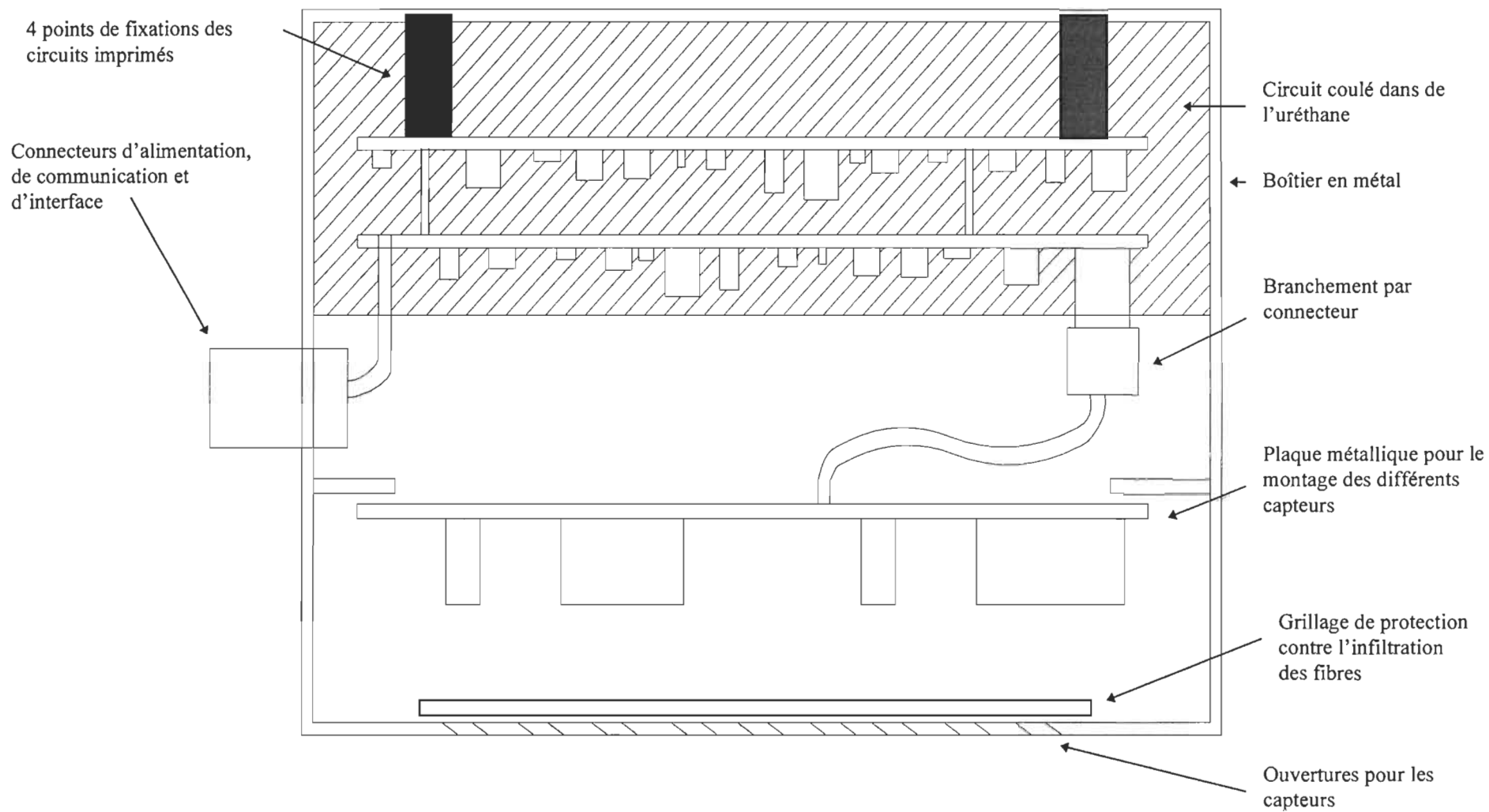


Figure 10.1 Proposition de montage d'un nouveau prototype

10.3 Recommandation pour l'utilisation en milieu industriel

Pour assurer un même niveau de fiabilité dans les différentes usines, les conditions environnementales et les risques potentiels (source de chaleur, champ magnétique, radiation, localisation, poussière et contaminant) doivent être clairement identifiés, et le plan de maintenance doit être ajustée en fonction du risque.

Pour la validation de capteur intelligent des vapeurs de styrène après installation dans l'usine, il est recommandé de prélever des échantillons d'air dans chaque point de lecture et les analyser par chromatographie en phase gazeuse. Ceci présente un bon moyen de détection d'anomalies et un indice de performance.

À sa version actuelle le capteur intelligent des vapeurs de styrène comporte une sortie linéaire qui peut être utilisée sous plusieurs formes. Cette sortie linéaire est proportionnelle à la concentration de styrène dans l'air, donc elle peut être utilisée pour commander une ventilation locale ou pour donner une alarme locale lorsque la concentration des vapeurs de styrène dépasse la limite fixée. Comme une source d'indication pour le secteur immédiat, un petit circuit d'affichage du niveau de sécurité codé par des couleurs peut être connecté à cette sortie linéaire pour afficher l'état du secteur par une série de témoins visuels. Ceci permettra de

prendre des précautions ou de réduire le niveau de concentration de styrène même avant qu'il atteigne le niveau maximum d'alarme, comme pour signaler un mauvais fonctionnement ou tout autre état de dérangement.

Puisqu'il intègre les capteurs nécessaires pour la surveillance et le contrôle de l'environnement, il peut efficacement asservir la ventilation de chaque compartiment. Ceci permet d'avoir un contrôle sur le mouvement d'air dans l'usine, de ventiler suivant le besoin et de chauffer lorsque nécessaire. De plus l'intégration du système d'alarme et incendie peut être facilement ajoutée comme une identité faisant partie du système ou comme une unité indépendante en utilisant les données recueillies par le système.

Le système en réseau donne une grande flexibilité, plusieurs possibilités d'utilisation selon les besoins, sans oublier la facilité de l'installation et l'économie réalisable avec l'intégration des autres systèmes de contrôle. Dans ce cas l'accroissement de la fiabilité est fonction des configurations du niveau de l'interdépendance et de l'intégration.

BIBLIOGRAPHIE

1. Yokoyama, k., S. Araki, and K. Murata "Effect of low level exposure on psychological performance in FRP boat laminating workers", Neurotoxicology, 1992, vol.13, no.3, 551-556
2. Brenner, D. D., A. M. Jeffrey, L. Latrinio, "Biomarkers in styrene-exposed boatbuilders", Mutation Research, 1991, vol. 261, no. 3, 225-236
3. Zenz, C., and L. S. Beliczky, "Styrene", Occupational Medecine, C. Zenz Editor, Chicago, 1988, 1024-1036
4. Tetsuro Seiyama, "Chemical sensor technology", Tokyo, Kodansha ltd, 1988
5. Royaume-Uni, Research and laboratory services division, Health and safety executive, London, U K, 1994

6. Kodjo Agbossou, T. James Agbebavi, Demagna Koffi, "Conception d'un capteur intelligent pour la détection des vapeurs de styrène dans l'industrie", J. Phys. III, France, 1994, 2031-2045
7. Kodjo Agbossou, Agbebavi James T., Koffi Demagna, "Gas sensors installation in industrial environment for detecting toxic styrene vapors", Instrumentation Science and technology, 1994, vol. 22, no 1, 39-60
8. Sylvan Katz, "La technologie émergente des capteurs: ses enjeux", Document d'étude, Conseil des Sciences du Canada, 1987, vol.5
9. Shambhu J. Upadhyaya, Hoang Pham, et Kewal K. Saluja, "Reliability Enhancement by Submodule Redundancy", Reliability and Maintainability Symposium 1990 Proceedings, Los Angeles, California, USA, janvier 1990
10. Tilak C. Sharma et Igor Bazovsky Sr, "Reliability Analysis of Large System By Markov Techniques", Reliability and Maintainability Symposium 1993 Proceedings, Atlanta, Georgia, USA, janvier 1993

11. R. W. Sears, Jr, "Practical Models for Determining Standby Redundancy Levels", Reliability and Maintainability Symposium 1990 Proceedings, Los Angeles, California, USA, janvier 1990
12. John S. Usher, "Analysys of Circuit-Pack Component Reliability", Reliability and Maintainability Symposium 1993 Proceedings, Atlanta,Georgia, USA, janvier 1993
13. Abhijit Dasgupta, Donald Baker, et Micheal Petcht, "Reliability Prediction of electronic packages", Reliability and Maintainability Symposium 1990 Proceedings, Los Angeles, California, USA, janvier 1990
14. P. Charpentier, "Conception d'un dispositif à microprocesseur sûr de fonctionnement", Publication du centre de recherche de l'INRS-CDU 621.38, 1991
15. Michael G. Petch, "Design for Qualification ", Reliability and Maintainability Symposium 1993 Proceedings, Atlanta,Georgia, USA, janvier 1993

16. William M. Goble, Ted W. Tucher, "Optimal reliability- Control system design", ISA Transactions, 1993, vol. 32,1293-1300
17. Zellers, E. T., N. Hosslod, R. M. White et S. M. Rappaport, "Selective real-time measurement of styrene vapor using a surface acoustic-wave sensor", Analytical chemistry, 1990, vol.62, no 13, 1227-1232
18. T. E. Bullock, S. Sangsuk-iam, R. Pietsch [... et al.], "Sensor fusion applied to system performance under sensor failures", SPIE, 1988, vol. 931, 131-138
19. I.P Popchev et S. G. Savov, "Fault tolerant control of complex industrial systems", Computational system analysys, Elsevier Science Publishers B.V, 1992
20. Zellers, E.T., N. Hassord, R.M. White, and S. M. Rappaport, "Use of a surface-Acoustic-Wave sensor to characterize the reaction of styrene vapor", Analytical Chemistry, 1990, vol.62, no.13,1227-1232

21. Rappaport, S. M., E. Kure, M. Patreas, D. Ting, and J. Woodlee, "A field method for measuring solvent vapors in exhaled air", Scandinavian Journal Of work, Environment and Health, 1991, vol. 17, no.3, 195-204
22. Zellers, E. T., "Selective real-time detection of olefin gases and vapors", Ann Arbor, Michigan, University of Michigan, 1993
23. Todd, W. F., "Control technology for fiber reinforced plastics industry", Cincinnati, Ohio, U. S. Department of health and human services, 1984
24. "Electronic Reliability Design Handbook" MIL-HDBK-338-1A, U.S. Department of Defense. 1988
25. Kodyo Agbossou, Implantation et validation en milieu industriel des modules intelligents de détection des vapeurs de styrène, U.Q.T.R, mai 1995
26. Mohamed Elhiri, Conception et réalisation du prototype du module intelligent pour la détection des vapeurs de styrène, U.Q.T.R, avril 1996

ANNEXE I

Principaux tableaux utilisés pour la prédiction de la fiabilité

Tableau 1
Détermination de la résistance thermique θ_{JC} pour les semi-conducteurs

Package Type	θ_{JC} (°C/W)	Package Type	θ_{JC} (°C/W)
TO-1	70	TO-205AD	70
TO-3	10	TO-205AF	70
TO-5	70	TO-220	5
TO-8	70	DO-4	5
TO-9	70	DO-5	5
TO-12	70	DO-7	10
TO-18	70	DO-8	5
TO-28	5	DO-9	5
TO-33	70	DO-13	10
TO-39	70	DO-14	5
TO-41	10	DO-29	10
TO-44	70	DO-35	10
TO-46	70	DO-41	10
TO-52	70	DO-45	5
TO-53	5	DO-204MB	70
TO-57	5	DO-205AB	5
TO-59	5	PA-42A,B	70
TO-60	5	PD-36C	70
TO-61	5	PD-50	70
TO-63	5	PD-77	70
TO-66	10	PD-180	70
TO-71	70	PD-31C	70
TO-72	70	PD-262	70
TO-83	5	PD-975	70
TO-89	22	PD-280	70
TO-92	70	PD-216	70
TO-94	5	PT-2G	70
TO-99	70	PT-6B	70
TO-126	5	PH-13	70
TO-127	5	PH-16	70
TO-204	10	PH-56	70
TO-204AA	10	PY-58	70
		PY-373	70

Tableau 2
Détermination de la température de jonction pour les microcircuits à l'exception
des microcircuits hybrides

Ideally, device case temperatures should be determined from a detailed thermal analysis of the equipment. Device junction temperature is then calculated with the following relationship:

$$T_J = T_C + \theta_{JC} P$$

T_J = Worst Case Junction Temperature (°C).

T_C = Case Temperature (°C). If not available, use the following default table.

Default Case Temperature (T_C) for all Environments

Environment	G_B	G_F	G_M	N_S	N_U	A_{IC}	A_{IF}	A_{UC}	A_{UF}	A_{RW}	S_F	M_F	M_L	C_L
T_C (°C)	35	45	50	45	50	60	60	75	75	60	35	50	60	45

θ_{JC} = Junction-to-case thermal resistance (°C/watt) for a device soldered into a printed circuit board. If θ_{JC} is not available, use a value contained in a specification for the closest equivalent device or use the following table.

Package Type (Ceramic Only)	Die Area > 14,400 mil ² θ_{JC} (°C/W)	Die Area ≤ 14,400 mil ² θ_{JC} (°C/W)
Dual-In-Line	11	28
Flat Package	10	22
Chip Carrier	10	20
Pin Grid Array	10	20
Can	—	70

P = The maximum power dissipation realized in a system application. If the applied power is not available, use the maximum power dissipation from the specification for the closest equivalent device.

Tableau 3
Détermination de la température de jonction pour les microcircuits hybrides

Typical Hybrid Characteristics

Material	Typical Usage	Typical Thickness, L_i (in.)	Feature From Figure 5-1	Thermal Conductivity, K_i ($\frac{W}{in^2 \cdot ^\circ C/in}$)	$\left(\frac{1}{K_i}\right) (L_i)$ ($in^2 \cdot ^\circ C/W$)
Silicon	Chip Device	0.010	A	2.20	.0045
GaAs	Chip Device	0.0070	A	.76	.0092
Au Eutectic	Chip Attach	0.0001	B	6.9	.000014
Solder	Chip/Substrate Attach	0.0030	B/E	1.3	.0023
Epoxy (Dielectric)	Chip/Substrate Attach	0.0035	B/E	.0060	.58
Epoxy (Conductive)	Chip Attach	0.0035	B	.15	.023
Thick Film Dielectric	Glass Insulating Layer	0.0030	C	.66	.0045
Alumina	Substrate, MHP	0.025	D	.64	.039
Beryllium Oxide	Substrate, PHP	0.025	D	6.6	.0038
Kovar	Case, MHP	0.020	F	.42	.048
Aluminum	Case, MHP	0.020	F	4.6	.0043
Copper	Case, PHP	0.020	F	9.9	.0020

NOTE: MHP: Multichip Hybrid Package, PHP: Power Hybrid Package (Pwr: $\geq 2W$, Typically)

$$\theta_{JC} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{K_i}\right) (L_i)}{A}$$

n = Number of Material Layers

K_i = Thermal Conductivity of i^{th} Material ($\frac{W}{in^2 \cdot ^\circ C/in}$) (User Provided or From Table)

L_i = Thickness of i^{th} Material (in) (User Provided or From Table)

A = Die Area (in^2). If Die Area cannot be readily determined, estimate as follows:

$$A = [.00278 (\text{No. of Die Active Wire Terminals}) + .0417]^2$$

Estimate T_J as Follows:

$$T_J = T_C + .9 (\theta_{JC}) (P_D)$$

T_C = Hybrid Case Temperature ($^\circ C$). If unknown, use the T_C Default Table shown in Section 5.11.

θ_{JC} = Junction-to-Case Thermal Resistance ($^\circ C/W$) (As determined above)

P_D = Die Power Dissipation (W)

Tableau 4
Détermination du taux de défaillance de base pour les diodes

Base Failure Rate - λ_b	
Diode Type/Application	λ_b
General Purpose Analog	.0038
Switching	.0010
Fast Recovery Power Rectifier	.025
Power Rectifier/Schottky	.0030
Power Diode	
Power Rectifier with	.0050/
High Voltage Stacks	Junction
Transient Suppressor/Varistor	.0013
Current Regulator	.0034
Voltage Regulator and Voltage	.0020
Reference (Avalanche	
and Zener)	

Tableau 5
Facteur de construction pour les diodes

Contact Construction Factor - π_C	
Contact Construction	π_C
Metallurgically Bonded	1.0
Non-Metallurgically Bonded and Spring Loaded Contacts	2.0

Tableau 6
Facteur de qualité pour les diodes

Quality Factor - π_Q	
Quality	π_Q
JANTXV	0.7
JANTX	1.0
JAN	2.4
Lower	5.5
Plastic	8.0

Tableau 7
Facteur de l'environnement pour les diodes

Environment Factor - π_E	
Environment	π_E
G_B	1.0
G_F	6.0
G_M	9.0
N_S	9.0
N_U	19
A_{IC}	13
A_{IF}	29
A_{UC}	20
A_{UF}	43
A_{RW}	24
S_F	.50
M_F	14
M_L	32
C_L	320

Tableau 8
Facteur de température pour les résistances

Temperature Factor - π_T

T(°C)	Column 1	Column 2
20	.88	.95
30	1.1	1.1
40	1.5	1.2
50	1.8	1.3
60	2.3	1.4
70	2.8	1.5
80	3.4	1.6
90	4.0	1.7
100	4.8	1.9
110	5.6	2.0
120	6.6	2.1
130	7.6	2.3
140	8.7	2.4
150	10	2.5

$$\pi_T = \exp\left(\frac{-E_a}{8.617 \times 10^{-5}} \left(\frac{1}{T + 273} - \frac{1}{298} \right)\right)$$

Column 1: $E_a = .2$

Column 2: $E_a = .08$

T = Resistor Case Temperature. Can be approximated as ambient component temperature for low power dissipation non-power type resistors.

NOTE: π_T values shown should only be used up to the temperature rating of the device. For devices with ratings higher than 150°C, use the equation to determine π_T .

Tableau 9
Facteur de puissance pour les résistances

Power Factor - π_p	
Power Dissipation (Watts)	π_p
.001	.068
.01	.17
.13	.44
.25	.58
.50	.76
.75	.89
1.0	1.0
2.0	1.3
3.0	1.5
4.0	1.7
5.0	1.9
10	2.5
25	3.5
50	4.6
100	6.0
150	7.1
$\pi_p = (\text{Power Dissipation})^{.39}$	

Tableau 10
Facteur de contrainte de puissance pour les résistances

Power Stress Factor - π_S

Power Stress	Column 1	Column 2
.1	.79	.66
.2	.88	.81
.3	.99	1.0
.4	1.1	1.2
.5	1.2	1.5
.6	1.4	1.8
.7	1.5	2.3
.8	1.7	2.8
.9	1.9	3.4

Column 1: $\pi_S = .71e^{1.1(S)}$

Column 2: $\pi_S = .54e^{2.04(S)}$

$S = \frac{\text{Actual Power Dissipation}}{\text{Rated Power}}$

Tableau 11
Facteur de l'environnement pour les résistances

Environment Factor - π_E

Environment	π_E
G_B	1.0
G_F	4.0
G_M	16
N_S	12
N_U	42
A_{IC}	18
A_{IF}	23
A_{UC}	31
A_{UF}	43
A_{RW}	63
S_F	.50
M_F	37
M_L	87
C_L	1728

Tableau 12
Facteur de qualité pour les résistances

Quality Factor - π_Q	
Quality	π_Q
Established Reliability Styles	
S	.03
R	0.1
P	0.3
M	1.0
Non-Established Reliability Resistors (Most Two-Letter Styles)	3.0
Commercial or Unknown Screening Level	10
NOTE: Established reliability styles are failure rate graded (S, R, P, M) based on life testing defined in the applicable military device specification. This category usually applies only to three-letter styles with an "R" suffix.	

Tableau 13
Détermination du taux de défaillance de base pour les résistances

Resistor Style	Specification MIL-R-	Description	λ_b	π_T Table Use Column:	π_S Table Use Column:
RC	11	Resistor, Fixed, Composition (Insulated)	.0017	1	2
RCR	39008	Resistor, Fixed, Composition (Insulated) Est. Rel.	.0017	1	2
RL	22684	Resistor, Fixed, Film, Insulated	.0037	2	1
RLR	39017	Resistor, Fixed, Film (Insulated), Est. Rel.	.0037	2	1
RN (R, C or N)	55182	Resistor, Fixed, Film, Established Reliability	.0037	2	1
RM	55342	Resistor, Fixed, Film, Chip, Established Reliability	.0037	2	1
RN	10509	Resistor, Fixed Film (High Stability)	.0037	2	1
RD	11804	Resistor, Fixed, Film (Power Type)	.0037	N/A, $\pi_T = 1$	1
RZ	83401	Resistor Networks, Fixed, Film	.0019	1	N/A, $\pi_S = 1$
RB	93	Resistor, Fixed, Wirewound (Accurate)	.0024	2	1
RBR	39005	Resistor, Fixed, Wirewound (Accurate) Est. Rel.	.0024	2	1
RW	26	Resistor, Fixed, Wirewound (Power Type)	.0024	2	2
RWR	39007	Resistor, Fixed, Wirewound (Power Type) Est. Rel.	.0024	2	2
RE	18546	Resistor, Fixed, Wirewound (Power Type, Chassis Mounted)	.0024	2	2
RER	39009	Resistor, Fixed, Wirewound (Power Type, Chassis Mounted) Est. Rel.	.0024	2	2
RTH	23648	Thermistor, (Thermally Sensitive Resistor), Insulated	.0019	N/A, $\pi_T = 1$	N/A, $\pi_S = 1$
RT	27208	Resistor, Variable, Wirewound (Lead Screw Activated)	.0024	2	1
RTR	39015	Resistor, Variable, Wirewound (Lead Screw Activated), Established Reliability	.0024	2	1
RR	12934	Resistor, Variable, Wirewound, Precision	.0024	2	1
RA	19	Resistor, Variable, Wirewound (Low Operating Temperature)	.0024	1	1
RK	39002	Resistor, Variable, Wirewound, Semi-Precision	.0024	1	1
RP	22	Resistor, Wirewound, Power Type	.0024	2	1
RJ	22097	Resistor, Variable, Nonwirewound	.0037	2	1
RJR	39035	Resistor, Variable, Nonwirewound Est. Rel.	.0037	2	1
RV	94	Resistor, Variable, Composition	.0037	2	1
RQ	39023	Resistor, Variable, Nonwirewound, Precision	.0037	1	1
RVC	23285	Resistor, Variable, Nonwirewound	.0037	1	1

Tableau 14
Détermination du taux de défaillance de base pour les condensateurs

Capacitor Style	Spec. MIL-C-	Description	λ_b	π_T Table - Use Column:	π_C Table - Use Column:	π_V Table - Use Column:	π_{SR}
CP	25	Capacitor, Fixed, Paper-Dielectric, Direct Current (Hermetically Sealed in Metal Cases)	.00037	1	1	1	1
CA	12889	Capacitor, By-Pass, Radio - Interference Reduction, Paper Dielectric, AC and DC (Hermetically sealed in Metallic Cases)	.00037	1	1	1	1
CZ, CZR	11693	Capacitor, Feed through, Radio Interference Reduction AC and DC (Hermetically sealed in metal cases), Established and Nonestablished Reliability	.00037	1	1	1	1
CQ, CQR	19978	Capacitor, Fixed Plastic (or Paper-Plastic) Dielectric (Hermetically sealed in metal, ceramic or glass cases), Established and Nonestablished Reliability	.00051	1	1	1	1
CH	18312	Capacitor, Fixed, Metallized (Paper, Paper Plastic or Plastic Film) Dielectric, Direct Current (Hermetically Sealed in Metal Cases)	.00037	1	1	1	1
CHR	39022	Capacitor, Fixed, Metallized Paper, Paper-Plastic Film or Plastic Film Dielectric	.00051	1	1	1	1
CFR	55514	Capacitor, Fixed, Plastic (or Metallized Plastic) Dielectric, Direct Current in Non-Metal Cases	.00051	1	1	1	1
CRH	83421	Capacitor, Fixed Supermetallized Plastic Film Dielectric (DC, AC or DC and AC) Hermetically Sealed in Metal Cases, Established Reliability	.00051	1	1	1	1
CM	5	Capacitors, Fixed, Mica Dielectric	.00076	2	1	2	1
CMR	39001	Capacitor, Fixed, Mica Dielectric, Established Reliability	.00076	2	1	2	1
CB	10950	Capacitor, Fixed, Mica Dielectric, Button Style	.00076	2	1	2	1
CY	11272	Capacitor, Fixed, Glass Dielectric	.00076	2	1	2	1
CYR	23269	Capacitor, Fixed, Glass Dielectric, Established Reliability	.00076	2	1	2	1

Tableau 14 (Suite)
Détermination du taux de défaillance de base pour les condensateurs

Capacitor Style	Spec. MIL-C-	Description	λ_D	π_T Table - Use Column:	π_C Table - Use Column:	π_V Table - Use Column:	π_{SR}
CK	11015	Capacitor, Fixed, Ceramic Dielectric (General Purpose)	.00099	2	1	3	1
CKR	39014	Capacitor, Fixed, Ceramic Dielectric (General Purpose), Established Reliability	.00099	2	1	3	1
CC, CCR	20	Capacitor, Fixed, Ceramic Dielectric (Temperature Compensating), Established and Nonestablished Reliability	.00099	2	1	3	1
CDR	55681	Capacitor, Chip, Multiple Layer, Fixed, Ceramic Dielectric, Established Reliability	.0020	2	1	3	1
CSR	39003	Capacitor, Fixed, Electrolytic (Solid Electrolyte), Tantalum, Established Reliability	.00040	1	2	4	See π_{SR} Table
CWR	55365	Capacitor, Fixed, Electrolytic (Tantalum), Chip, Established Reliability	.00005	1	2	4	See π_{SR} Table
CL	3965	Capacitor, Fixed, Electrolytic (Nonsolid Electrolyte), Tantalum	.00040	1	2	4	1
CLR	39006	Capacitor, Fixed, Electrolytic (Nonsolid Electrolyte), Tantalum, Established Reliability	.00040	1	2	4	1
CRL	83500	Capacitor, Fixed, Electrolytic (Nonsolid Electrolyte), Tantalum Cathode	.00040	1	2	4	1
CU, CUR	39018	Capacitor, Fixed, Electrolytic (Aluminum Oxide), Established Reliability and Nonestablished Reliability	.00012	2	2	1	1
CE	62	Capacitor, Fixed Electrolytic (DC, Aluminum, Dry Electrolyte, Polarized)	.00012	2	2	1	1
CV	81	Capacitor, Variable, Ceramic Dielectric (Trimmer)	.0079	1	1	5	1
PC	14409	Capacitor, Variable (Piston Type, Tubular Trimmer)	.0060	2	1	5	1
CT	92	Capacitor, Variable, Air Dielectric (Trimmer)	.0000072	2	1	5	1
CG	23183	Capacitor, Fixed or Variable, Vacuum Dielectric	.0060	1	1	5	1

Tableau 15
Détermination du facteur de température pour les condensateurs

Temperature Factor - π_T

T(°C)	Column 1	Column 2
20	.91	.79
30	1.1	1.3
40	1.3	1.9
50	1.6	2.9
60	1.8	4.2
70	2.2	6.0
80	2.5	8.4
90	2.8	11
100	3.2	15
110	3.7	21
120	4.1	27
130	4.6	35
140	5.1	44
150	5.6	56

$$\pi_T = \exp\left(\frac{-E_a}{8.617 \times 10^{-5} \left(\frac{1}{T + 273} - \frac{1}{298}\right)}\right)$$

Column 1: $E_a = .15$

Column 2: $E_a = .35$

T = Capacitor Ambient Temperature

NOTE: 1. π_T values shown should only be used up to the temperature rating of the device.

2. For devices with ratings higher than 150°C, use the equation to determine π_T (for applications above 150°C).

Tableau 16
Détermination du facteur de capacité pour les condensateurs

Capacitance Factor - π_C		
Capacitance, C(μ F)	Column 1	Column 2
.000001	.29	.04
.00001	.35	.07
.0001	.44	.12
.001	.54	.20
.01	.66	.35
.05	.76	.50
.1	.81	.59
.5	.94	.85
1	1.0	1.0
3	1.1	1.3
8	1.2	1.6
18	1.3	1.9
40	1.4	2.3
200	1.6	3.4
1000	1.9	4.9
3000	2.1	6.3
10000	2.3	8.3
30000	2.5	11
60000	2.7	13
120000	2.9	15
Column 1: $\pi_C = C \cdot 09$ Column 2: $\pi_C = C \cdot 23$		

Tableau 17
Détermination de la résistance de série pour les condensateurs

Circuit Resistance, CR (ohms/volt)	π_{SR}
>0.8	.66
>0.6 to 0.8	1.0
>0.4 to 0.6	1.3
>0.2 to 0.4	2.0
>0.1 to 0.2	2.7
0 to 0.1	3.3
$CR = \frac{\text{Eff. Res. Between Cap. and Pwr. Supply}}{\text{Voltage Applied to Capacitor}}$	

Tableau 18
Facteur de l'environnement pour les condensateurs

Environment Factor - π_E

Environment	π_E
G_B	1.0
G_F	10
G_M	20
N_S	7.0
N_U	15
A_{IC}	12
A_{IF}	15
A_{UC}	25
A_{UF}	30
A_{RW}	40
S_F	.50
M_F	20
M_L	50
C_L	570

Tableau 19
Facteur de qualité pour les condensateurs

Quality Factor - π_Q	
Quality	π_Q
Established Reliability Styles	
D	.001
C	.01
S,B	.03
R	.1
P	.3
M	1.0
L	1.5
Non-Established Reliability Capacitors (Most Two-Letter Styles)	3.0
Commercial or Unknown Screening Level	10.
NOTE: Established reliability styles are failure rate graded (D, C, S, etc.) based on life testing defined in the applicable military device specification. This category usually applies only to three-letter styles with an "R" suffix.	

Tableau 20

Facteur des points chauds de température pour les composants inductifs

Hot Spot temperature can be estimated as follows:

$$T_{HS} = T_A + 1.1 (\Delta T)$$

where:

- T_{HS} = Hot Spot Temperature (°C)
 T_A = Inductive Device Ambient Operating Temperature (°C)
 ΔT = Average Temperature Rise Above Ambient (°C)

ΔT can either be determined by the appropriate "Temperature Rise" Test Method paragraph in the device base specification (e.g., paragraph 4.8.12 for MIL-T-27E), or by approximation using one of the procedures described below. For space environments a dedicated thermal analysis should be performed.

 ΔT Approximation (Non-space Environments)

Information Known		ΔT Approximation
1.	MIL-C-39010 Slash Sheet Number MIL-C-39010/1C-3C, 5C, 7C, 9A, 10A, 13, 14 MIL-C-39010/4C, 6C, 8A, 11, 12	$\Delta T = 15^{\circ}\text{C}$ $\Delta T = 35^{\circ}\text{C}$
2.	Power Loss Case Radiating Surface Area	$\Delta T = 125 W_L/A$
3.	Power Loss Transformer Weight	$\Delta T = 11.5 W_L/(Wt.)^{.6766}$
4.	Input Power Transformer Weight (Assumes 80% Efficiency)	$\Delta T = 2.1 W_I/(Wt.)^{.6766}$

W_L = Power Loss (W)

A = Radiating Surface Area of Case (in²). See below for MIL-T-27 Case Areas

$Wt.$ = Transformer Weight (lbs.)

W_I = Input Power (W)

NOTE: Methods are listed in preferred order (i.e., most to least accurate). MIL-C-39010 are micro-miniature devices with surface areas less than 1 in². Equations 2-4 are applicable to devices with surface areas from 3 in² to 150 in². Do not include the mounting surface when determining radiating surface area.

MIL-T-27 Case Radiating Areas (Excludes Mounting Surface)					
Case	Area (in ²)	Case	Area (in ²)	Case	Area (in ²)
AF	4	GB	33	LB	82
AG	7	GA	43	LA	98
AH	11	HB	42	MB	98
AJ	18	HA	53	MA	115
EB	21	JB	58	NB	117
EA	23	JA	71	NA	139
FB	25	KB	72	OA	146
FA	31	KA	84		

Tableau 21
Facteur de qualité pour les composants inductifs

Quality Factor - π_Q	
Quality	π_Q
MIL-SPEC	1
Lower	3

Tableau 22
Facteur de l'environnement pour les composants inductifs

Environment Factor - π_E	
Environment	π_E
G_B	1.0
G_F	6.0
G_M	12
N_S	5.0
N_U	16
A_{IC}	6.0
A_{IF}	8.0
A_{UC}	7.0
A_{UF}	9.0
A_{RW}	24
S_F	.50
M_F	13
M_L	34
C_L	610

Tableau 23
Taux de défaillance de base pour les composants inductifs

Base Failure Rate - λ_b

Transformer	λ_b (F/10 ⁶ hrs.)
Flyback (< 20 Volts)	.0054
Audio (15 -20K Hz)	.014
Low Power Pulse (Peak Pwr. < 300W, Avg. Pwr. < 5W)	.022
High Power, High Power Pulse (Peak Power \geq 300W, Avg. Pwr. \geq 5W)	.049
RF (10K - 10M Hz)	.13

Tableau 24
Taux de défaillance de base pour autres types de connecteurs

Base Failure Rate - λ_b		
Description	Specification MIL-C-	λ_b
Circular/Cylindrical	5015 26482	.0010
	26500 27599	
	28840 29600	
	38999 83723	
	81511	
Card Edge (PCB)*	21097	.040
	55302	
Hexagonal	24055	.15
	24056	
Rack and Panel	24308	.021
	28731	
	28748	
	83515	
Rectangular	21617	.046
	24308	
	28748	
	28804	
	81659	
	83513	
	83527	
	83733	
RF Coaxial	85028	.00041
	3607 15370	
	3643 25516	
	3650 26637	
	3655 39012	
Telephone	55235	.0075
	83517	
	55074	
Power	22992	.0070
Triaxial	49142	.0036

* Printed Circuit Board Connector

Tableau 25
Facteur de connexion - déconnexion pour autres types de connecteurs

Mating/Unmating Factor - π_K	
Mating/Unmating Cycles* (per 1000 hours)	π_K
0 to .05	1.0
> .05 to .5	1.5
> .5 to 5	2.0
> 5 to 50	3.0
> 50	4.0
*One cycle includes both connect and disconnect.	

Tableau 26
Facteur de température pour autres types de connecteurs

Temperature Factor - π_T	
T_o (°C)	π_T
20	.91
30	1.1
40	1.3
50	1.5
60	1.8
70	2.0
80	2.3
90	2.7
100	3.0
110	3.4
120	3.7
130	4.1
140	4.6
150	5.0
160	5.5
170	6.0
180	6.5
190	7.0
200	7.5
210	8.1
220	8.6
230	9.2
240	9.8
250	10.

$$\pi_T = \exp \left[\frac{-.14}{8.617 \times 10^{-5}} \left(\frac{1}{T_o + 273} - \frac{1}{298} \right) \right]$$

T_o = Connector Ambient + ΔT
 ΔT = Connector Insert Temperature Rise
 (See Table)

Tableau 28
Taux de défaillance de base pour les connecteurs

Base Failure Rate - λ_b

Description	Spec. MIL-S	λ_b
Dual-In-Line Package	83734	.00064
Single-In-Line Package	83734	.00064
Chip Carrier	38533	.00064
Pin Grid Array	N/A	.00064
Relay	12883	.037
Transistor	12883	.0051
Electron Tube, CRT	12883	.011

Tableau 29
Facteur des pinnes actives pour les connecteurs, sockets

Active Pins Factor - π_p

Number of Active Contacts	π_p	Number of Active Contacts	π_p
1	1.0	55	6.9
2	1.5	60	7.4
3	1.7	65	7.9
4	1.9	70	8.4
5	2.0	75	8.9
6	2.1	80	9.4
7	2.3	85	9.9
8	2.4	90	10
9	2.5	95	11
10	2.6	100	12
11	2.7	105	12
12	2.8	110	13
13	2.9	115	13
14	3.0	120	14
15	3.1	125	14
16	3.2	130	15
17	3.3	135	16
18	3.4	140	16
19	3.5	145	17
20	3.6	150	18
25	4.1	155	18
30	4.5	160	19
35	5.0	165	20
40	5.5	170	20
45	5.9	175	21
50	6.4	180	22

$$\pi_p = \exp \left(\frac{N-1}{10} \right)^q$$

q = .39

N = Number of Active Pins

An active contact is the conductive element which mates with another element for the purpose of transferring electrical energy.

Tableau 27
Facteur de l'environnement pour autres types de connecteurs

Environment Factor - π_E	
Environment	π_E
G _B	1.0
G _F	1.0
G _M	8.0
N _S	5.0
N _U	13
A _{IC}	3.0
A _{IF}	5.0
A _{UC}	8.0
A _{UF}	12
A _{RW}	19
S _F	.50
M _F	10
M _L	27
C _L	490

Tableau 27-1
Facteur de qualité pour autres types de connecteurs

Quality Factor - π_Q	
Quality	π_Q
MIL-SPEC	1
Lower	2

Tableau 32
Taux de défaillance de base pour les interconnexions PTH

Base Failure Rate - λ_b	
Technology	λ_b
Printed Wiring Assembly/Printed Circuit Boards with PTHs	000017
Discrete Wiring with Electroless Deposited PTH (≤ 2 Levels of Circuitry)	.00011

Tableau 33
Facteurs de complexité pour les interconnexions PTH

Complexity Factor - π_C	
Number of Circuit Planes, P	π_C
≤ 2	1.0
3	1.3
4	1.6
5	1.8
6	2.0
7	2.2
8	2.4
9	2.6
10	2.8
11	2.9
12	3.1
13	3.3
14	3.4
15	3.6
16	3.7
17	3.9
18	4.0
Discrete Wiring w/PTH	1
$\pi_C = .65 P^{.63}$ $2 \leq P \leq 18$	

Tableau 30
Facteur de l'environnement pour les connecteurs

Environment Factor - π_E	
Environment	π_E
G_B	1.0
G_F	3.0
G_M	14
N_S	6.0
N_U	18
A_{IC}	8.0
A_{IF}	12
A_{UC}	11
A_{UF}	13
A_{RW}	25
S_F	.50
M_F	14
M_L	36
C_L	650

Tableau 31
Facteur de qualité pour les connecteurs

Quality Factor - π_Q	
Quality	π_Q
MIL-SPEC.	.3
Lower	1.0

Tableau 34
Facteur de l'environnement pour les interconnexions PTH

Environment Factor - π_E	
Environment	π_E
G_B	1.0
G_F	2.0
G_M	7.0
N_S	5.0
N_U	13
A_{IC}	5.0
A_{IF}	8.0
A_{UC}	16
A_{UF}	28
A_{RW}	19
S_F	.50
M_F	10
M_L	27
C_L	500

Tableau 35
Facteur de qualité pour les interconnexions PTH

Quality Factor - π_Q	
Quality	π_Q
MIL-SPEC or Comparable Institute for Interconnecting, and Packaging Electronic Circuits (IPC) Standards (IPC Level 3)	1
Lower	2

Tableau 36

Taux de défaillance de base pour les connexions à l'exception de PTH et SMT

Base Failure Rate - λ_b	
Connection Type	λ_b (F/10 ⁶ hrs)
Hand Solder, w/o Wrapping	.0013
Hand Solder, w/Wrapping	.000070
Crimp	.00026
Weld	.000015
Solderless Wrap	.0000068
Clip Termination	.00012
Reflow Solder	.000069
Spring Contact	.17
Terminal Block	.062

Tableau 37

Facteur de l'environnement pour les connexions à l'exception de PTH et SMT

Environment Factor - π_E	
Environment	π_E
G_B	1.0
G_F	2.0
G_M	7.0
N_S	4.0
N_U	11
A_{IC}	4.0
A_{IF}	6.0
A_{UC}	6.0
A_{UF}	8.0
A_{RW}	16
S_F	.50
M_F	9.0
M_L	24
C_L	420

Tableau 39
Valeur de α_s pour les interconnexions
Technologie de montage en surface

α_s - Default TCE Substrate Values

Substrate Material	α_s
FR-4 Laminate	18
FR-4 Multilayer Board	20
FR-4 Multilayer Board w/Copper Clad Invar	11
Ceramic Multilayer Board	7
Copper Clad Invar	5
Copper Clad Molybdenum	5
Carbon-Fiber/Epoxy Composite	1
Kevlar Fiber	3
Quartz Fiber	1
Glass Fiber	5
Epoxy/Glass Laminate	15
Polyamide/Glass Laminate	13
Polyamide/Kevlar Laminate	6
Polyamide/Quartz Laminate	8
Epoxy/Kevlar Laminate	7
Alumina (Ceramic)	7
Epoxy Aramid Fiber	7
Polyamide Aramid Fiber	6
Epoxy-Quartz	9
Fiberglass Teflon Laminates	20
Porcelainized Copper Clad Invar	7
Fiberglass Ceramic Fiber	7

Tableau 38
Valeur de CR pour les interconnexions
Technologie de montage en surface

CR - Cycling Rate Default Values

Equipment Type	Number of Cycles/Hour
Automotive	1.0
Consumer (television, radio, recorder)	.08
Computer	.17
Telecommunications	.0042
Commercial Aircraft	.25
Industrial	.021
Military Ground Applications	.03
Military Aircraft (Cargo)	.12
Military Aircraft (Fighter)	.5

Tableau 40
Valeur de ΔT par défaut pour les interconnexions
Technologie de montage en surface

ΔT - Use Environment Default
Temperature Difference

Environment	ΔT
G_B	7
G_F	21
G_M	26
N_S	26
N_U	61
A_{IC}	31
A_{IF}	31
A_{UC}	57
A_{UF}	57
A_{RW}	31
S_F	7
M_F	N/A
M_L	N/A
C_L	N/A

Tableau 41
Valeur de α_{CC} pour les interconnexions
Technologie de montage en surface

α_{CC} - TCE Package Values

Substrate Material	α_{CC} Average Value
Plastic	7
Ceramic	6

Tableau 42
Facteur de configuration des pattes pour les interconnexions
Technologie de montage en surface

π_{LC} - Lead Configuration Factor

Lead Configuration	π_{LC}
Leadless	1
J or S Lead	150
Gull Wing	5,000

Tableau 43
Facteur de qualité pour les Microcircuits

Quality Factors - π_Q

Description	π_Q
<p><u>Class S Categories:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Procured in full accordance with MIL-M-38510, Class S requirements. 2. Procured in full accordance with MIL-I-38535 and Appendix B thereto (Class U). 3. Hybrids: (Procured to Class S requirements (Quality Level K) of MIL-H-38534. 	.25
<p><u>Class B Categories:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Procured in full accordance with MIL-M-38510, Class B requirements. 2. Procured in full accordance with MIL-I-38535, (Class Q). 3. Hybrids: Procured to Class B requirements (Quality Level H) of MIL-H-38534. 	1.0
<p><u>Class B-1 Category:</u></p> <p>Fully compliant with all requirements of paragraph 1.2.1 of MIL-STD-883 and procured to a MIL drawing, DESC drawing or other government approved documentation. (Does not include hybrids). For hybrids use custom screening section below.</p>	2.0

Tableau 44
Facteur de température pour les Microcircuits

Temperature Factor For All Microcircuits - π_T

	TTL, ASTTL, CML, HTTL, FTTL, DTL, ECL, ALSTTL	F, LTTL, STTL	BiCMOS, LSTTL	IL, I ² L, ISL	Digital MOS, VHSIC CMOS	Linear (Bipolar & MOS)	Memories (Bipolar & MOS), MNOS	GaAs MMIC Active Devices, π_{TA}	GaAs Digital Active Devices, π_{TA}
$E_a(\text{eV}) \rightarrow$ $T_J(^{\circ}\text{C})$.4	.45	.5	.5	.35	.65	.6	1.5	1.4
25	.10	.10	.10	.10	.10	.10	.10	3.20E-04	1.00E-04
30	.13	.13	.14	.15	.13	.15	.15	4.40E-04	2.50E-04
35	.17	.18	.19	.21	.16	.23	.21	2.10E-04	5.90E-04
40	.21	.23	.25	.31	.19	.34	.31	5.20E-04	1.40E-07
45	.27	.3	.34	.43	.24	.49	.43	1.30E-07	3.10E-07
50	.33	.39	.45	.61	.29	.71	.61	2.90E-07	6.80E-07
55	.42	.50	.59	.85	.35	1.0	.85	6.70E-07	1.50E-06
60	.51	.63	.77	1.2	.42	1.4	1.2	1.50E-06	3.10E-06
65	.63	.80	1.0	1.6	.50	2.0	1.6	3.20E-06	6.40E-06
70	.77	1.0	1.3	2.1	.60	2.8	2.1	6.80E-06	1.30E-06
75	.94	1.2	1.6	2.9	.71	3.8	2.9	1.40E-06	2.50E-06
80	1.1	1.5	2.1	3.8	.84	5.2	3.8	2.90E-06	4.90E-06
85	1.4	1.9	2.6	5.0	.98	7.0	5.0	5.70E-06	9.40E-06
90	1.6	2.3	3.3	6.6	1.1	9.3	6.6	1.10E-04	1.70E-04
95	1.9	2.8	4.1	8.5	1.3	12	8.5	2.10E-04	3.20E-04
100	2.3	3.4	5.0	11	1.5	16	11	4.00E-04	5.80E-04
105	2.7	4.1	6.2	14	1.8	21	14	7.50E-04	1.00E-03
110	3.2	4.9	7.5	18	2.1	28	18	1.40E-03	1.80E-03
115	3.7	5.8	9.2	23	2.4	35	23	2.40E-03	3.10E-03
120	4.3	6.9	11	28	2.7	45	28	4.30E-03	5.30E-03
125	5	8.2	13	35	(3.1)	58	35	7.50E-03	9.00E-03
130	5.8	9.6	16	44	3.5	73	44	1.30E-02	1.50E-02
135	6.7	11	19	54	3.9	92	54	2.20E-02	2.40E-02
140	7.7	13	23	67	4.4	120	67	3.70E-02	3.90E-02
145	8.8	15	27	82	5.0	140	82	6.10E-02	6.30E-02
150	10	18	32	100	5.6	180	100	1.00E-01	1.00E-01
155	11	20	37	120	6.3	220	120	1.60E-01	1.60E-01
160	13	24	43	150	7.0	270	150	2.60E-01	2.40E-01
165	15	27	50	180	7.8	330	180	4.10E-01	3.70E-01
170	16	31	59	210	8.7	400	210	6.40E-01	5.70E-01
175	18	35	68	250	9.6	480	250	9.90E-01	8.50E-01

$$\pi_T = .1 \exp \left(\frac{-E_a}{8.617 \times 10^{-5} \left(\frac{1}{T_J + 273} - \frac{1}{298} \right)} \right) \text{ Silicon Devices}$$

$$\pi_T = .1 \exp \left(\frac{-E_a}{8.617 \times 10^{-5} \left(\frac{1}{T_J + 273} - \frac{1}{423} \right)} \right) \text{ GaAs Devices}$$

E_a = Effective Activation Energy (eV) (Shown Above)

T_J = Worst Case Junction Temperature (Silicon Devices) or Average Active Device Channel Temperature (GaAs Devices).

See Section 5.11 (or Section 5.12 for Hybrids) for T_J Determination.

NOTES: 1. $T_J = T_C + P \theta_{JC}$

T_C = Case Temperature ($^{\circ}\text{C}$)

P = Device Power Dissipation (W)

θ_{JC} = Junction to Case Thermal Resistance ($^{\circ}\text{C/W}$)

θ_{JC} should be obtained from the device manufacturer, MIL-M-38510, or from the default values shown in Section 5.11 for the closest equivalent device.

2. Use Digital MOS column for HC, HCT, AC, ACT, C and FCT technologies.

3. Table entries should be considered valid only up to the rated temperature of the component under consideration.

Tableau 47
Détermination du taux de défaillance de la complexité de la matrice pour les
Microcircuits

Bipolar Digital and Linear Gate/Logic Array Die Complexity Failure Rate - C_1

Digital		Linear		PLA/PAL	
No. Gates	C_1	No. Transistors	C_1	No. Gates	C_1
1 to 100	.0025	1 to 100	.010	Up to 200	.010
101 to 1,000	.0050	101 to 300	.020	201 to 1,000	.021
1,001 to 3,000	.010	301 to 1,000	.040	1,001 to 5,000	.042
3,001 to 10,000	.020	1,001 to 10,000	.060		
10,001 to 30,000	.040				
30,001 to 60,000	.080				

MOS Linear and Digital Gate/Logic Array Die Complexity Failure Rate - C_1^*

Digital		Linear		PLA/PAL	
No. Gates	C_1	No. Transistors	C_1	No. Gates	C_1
1 to 100	.010	1 to 100	.010	Up to 500	.00085
101 to 1,000	.020	101 to 300	.020	501 to 1,000	.0017
1,001 to 3,000	.040	301 to 1,000	.040	2,001 to 5,000	.0034
3,001 to 10,000	.080	1,001 to 10,000	.060	5,001 to 20,000	.0068
10,001 to 30,000	.16				
30,001 to 60,000	.29				

Microprocessor
Die Complexity Failure Rate - C_1

No. Bits	Bipolar	MOS
	C_1	C_1
Up to 8	.060	.14
Up to 16	.12	.28
Up to 32	.24	.56

Tableau 45
Facteur de l'environnement pour les Microcircuits

Environment Factor - π_E	
Environment	π_E
G_B	.50
G_F	2.0
G_M	4.0
N_S	4.0
N_U	6.0
A_{IC}	4.0
A_{IF}	5.0
A_{UC}	5.0
A_{UF}	8.0
A_{RW}	8.0
S_F	.50
M_F	5.0
M_L	12
C_L	220

Tableau 46
Facteur d'apprentissage pour les Microcircuits

Learning Factor - π_L	
Years in Production, Y	π_L
$\leq .1$	2.0
.5	1.8
1.0	1.5
1.5	1.2
≥ 2.0	1.0
$\pi_L = .01 \exp(5.35 - .35Y)$ <p>Y = Years generic device type has been in production</p>	

Tableau 48
Détermination du taux de défaillance d'emballage pour les Microcircuits

Package Failure Rate for all Microcircuits - C_2

Number of Functional Pins, N_p	Package Type				
	Hermetic: DIPs w/Solder or Weld Seal, Pin Grid Array (PGA) ¹ , SMT (Leaded and Nonleaded)	DIPs with Glass Seal ²	Flatpacks with Axial Leads on 50 Mil Centers ³	Cans ⁴	Nonhermetic: DIPs, PGA, SMT (Leaded and Nonleaded) ⁵
3	.00092	.00047	.00022	.00027	.0012
4	.0013	.00073	.00037	.00049	.0016
6	.0019	.0013	.00078	.0011	.0025
8	.0026	.0021	.0013	.0020	.0034
10	.0034	.0029	.0020	.0031	.0043
12	.0041	.0038	.0028	.0044	.0053
14	.0048	.0048	.0037	.0060	.0062
16	.0056	.0059	.0047	.0079	.0072
18	.0064	.0071	.0058		.0082
22	.0079	.0096	.0083		.010
24	.0087	.011	.0098		.011
28	.010	.014			.013
36	.013	.020			.017
40	.015	.024			.019
64	.025	.048			.032
80	.032				.041
128	.053				.068
180	.076				.098
224	.097				.12

1. $C_2 = 2.8 \times 10^{-4} (N_p)^{1.08}$

3. $C_2 = 3.0 \times 10^{-5} (N_p)^{1.82}$

5. $C_2 = 3.6 \times 10^{-4} (N_p)^{1.08}$

2. $C_2 = 9.0 \times 10^{-5} (N_p)^{1.51}$

4. $C_2 = 3.0 \times 10^{-5} (N_p)^{2.01}$

NOTES:

1. SMT: Surface Mount Technology
2. DIP: Dual In-Line Package
3. If DIP Seal type is unknown, assume glass
4. The package failure rate (C_2) accounts for failures associated only with the package itself. Failures associated with mounting the package to a circuit board are accounted for in Section 16, Interconnection Assemblies.

Tableau 49
Facteur de l'environnement pour les cristaux Quartz

Environment Factor - π_E	
Environment	π_E
G_B	1.0
G_F	3.0
G_M	10
N_S	6.0
N_U	16
A_{IC}	12
A_{IF}	17
A_{UC}	22
A_{UF}	28
A_{RW}	23
S_F	.50
M_F	13
M_L	32
C_L	500

Tableau 50
Facteur de qualité pour les cristaux Quartz

Quality Factor - π_Q	
Quality	π_Q
MIL-SPEC	1.0
Lower	2.1

Tableau 51
Facteur de forme de contact pour les relais mécaniques

Contact Form Factor - π_C (Applies to Active Conducting Contacts)	
Contact Form	π_C
SPST	1.00
DPST	1.50
SPDT	1.75
3PST	2.00
4PST	2.50
DPDT	3.00
3PDT	4.25
4PDT	5.50
6PDT	8.00

Tableau 52
Facteur de cyclage pour les relais mécaniques

Cycling Factor - π_{CYC}	
Cycle Rate (Cycles per Hour)	π_{CYC} (MIL-SPEC)
	<u>Cycles per Hour</u>
≥ 1.0	10
< 1.0	0.1

Cycle Rate (Cycles per Hour)	π_{CYC} (Lower Quality)
> 1000	$\left(\frac{\text{Cycles per Hour}}{100}\right)^2$
10 - 1000	<u>Cycles per Hour</u> 10
< 10	1.0

NOTE: Values of π_{CYC} for cycling rates beyond the basic design limitations of the relay are not valid. Design specifications should be consulted prior to evaluation of π_{CYC} .	
--	--

Tableau 53
Facteur d'application et de construction pour les relais mécaniques

Application and Construction Factor - K_F

Contact Rating	Application Type	Construction Type	K_F	
			MIL-SPEC	Lower Quality
Signal Current (Low mv and ma)	Dry Circuit	Armature (Long)	4	8
		Dry Reed	6	18
		Mercury Wetted	1	3
		Magnetic Latching	4	8
		Balanced Armature	7	14
		Solenoid	7	14
0-5 Amp	General Purpose	Armature (Long)	3	6
		Balanced Armature	5	10
		Solenoid	6	12
	Sensitive (0 - 100 mw)	Armature (Long and Short)	5	10
		Mercury Wetted	2	6
		Magnetic Latching	6	12
		Meter Movement	100	100
		Balanced Armature	10	20
	Polarized	Armature (Short)	10	20
		Meter Movement	100	100
	Vibrating Reed	Dry Reed	6	12
		Mercury Wetted	1	3
	High Speed	Armature (Balanced and Short)	25	NA
		Dry Reed	6	NA
	Thermal Time Delay	Bimetal	10	20
	Electronic Time Delay, Non-Thermal		9	12
5-20 Amp	High Voltage	Dry Reed	10	20
		Mercury Wetted	5	10
	Medium Power	Balanced Armature	5	10
		Vacuum (Glass)	20	40
		Vacuum (Ceramic)	5	10
		Armature (Long and Short)	3	6
		Mercury Wetted	1	3
		Magnetic Latching	2	6
		Mechanical Latching	3	6
		Balanced Armature	3	6
		Solenoid	2	6
		Solenoid	2	6
25-600 Amp	Contactors (High Current)	Armature (Short)	7	14
		Mechanical Latching	12	24
		Balanced Armature	10	20
		Solenoid	5	10

Tableau 54
Facteur de l'environnement pour les relais mécaniques

Environment Factor - π_E		
Environment	π_E	
	MIL-SPEC	Lower Quality
G_B	1.0	2.0
G_F	2.0	5.0
G_M	15	44
N_S	8.0	24
N_U	27	78
A_{IC}	7.0	15
A_{IF}	9.0	20
A_{UC}	11	28
A_{UF}	12	38
A_{FW}	46	140
S_F	.50	1.0
M_F	25	72
M_L	66	200
C_L	N/A	N/A

Tableau 55
Facteur de qualité pour les relais mécaniques

Quality Factor - π_Q	
Quality	π_Q
R	.10
P	.30
X	.45
U	.60
M	1.0
L	1.5
Non-Est. Rel.	3.0

Tableau 56
Taux de défaillance de base pour les relais (Solid State, Time Delay)

Base Failure Rate - λ_b	
Relay Type	λ_b
Solid State	.40
Solid State Time Delay	.50
Hybrid	.50

Tableau 57
Facteur de l'environnement pour les relais (Solid State, Time Delay)

Environment Factor - π_E	
Environment	π_E
G_B	1.0
G_F	3.0
G_M	12
N_S	6.0
N_U	17
A_{IC}	12
A_{IF}	19
A_{UC}	21
A_{UF}	32
A_{RW}	23
S_F	.40
M_F	12
M_L	33
C_L	590

Tableau 58
Facteur de qualité pour les relais (Solid State, Time Delay)

Quality Factor - π_Q	
Quality	π_Q
MIL-SPEC	1.0
Lower	4.0

Tableau 59
Détermination du taux de défaillance pour les Microcircuits Hybrides

Determination of λ_c		
Determine λ_c for These Component Types	Handbook Section	Make These Assumptions When Determining λ_c
Microcircuits	5	$C_2 = 0, \pi_Q = 1, \pi_L = 1, T_J$ as Determined from Section 5.12, $\lambda_{BP} = 0$ (for VHSIC).
Discrete Semiconductors	6	$\pi_Q = 1, \pi_A = 1, T_J$ as Determined from Section 6.14, $\pi_E = 1$.
Capacitors	10	$\pi_Q = 1, T_A$ = Hybrid Case Temperature, $\pi_E = 1$.
NOTE: If maximum rated stress for a die is unknown, assume the same as for a discretely package die of the same type. If the same die has several ratings based on the discrete packaged type, assume the lowest rating. Power rating used should be based on case temperature for discrete semiconductors.		

Tableau 60
Facteur de fonction du circuit pour les Microcircuits Hybrides

Circuit Function Factor - π_F	
Circuit Type	π_F
Digital	1.0
Video, 10 MHz < f < 1 GHz	1.2
Microwave, f > 1 GHz	2.6
Linear, f < 10 MHz	5.8
Power	21

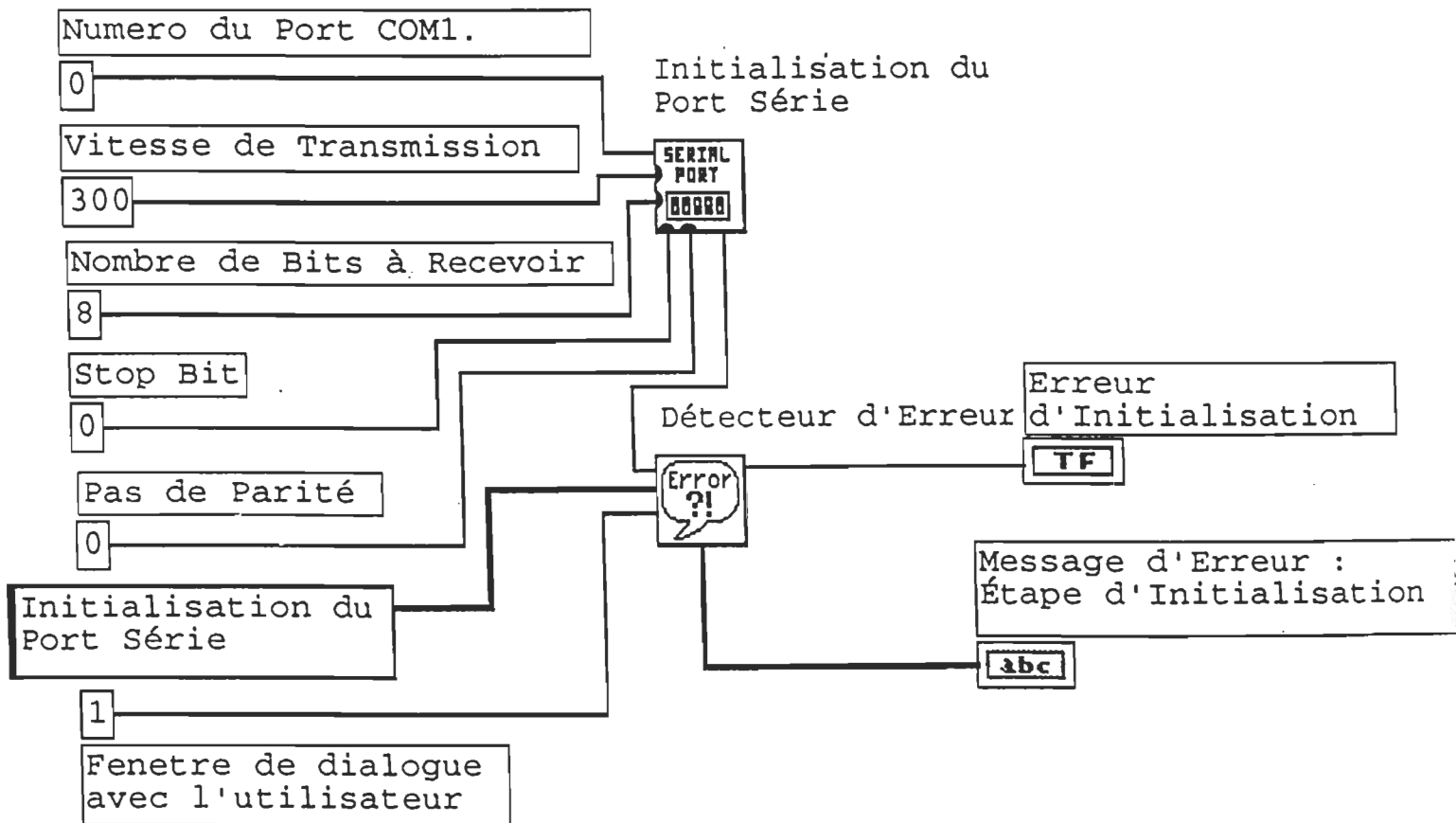
ANNEXE II

Routines principales utilisées dans LABVIEW

ROUTINE D'INITIALISATION

Cette routine permet de fixer les paramètres d'initialisation du port de communication série. Ce dialogue entre le capteur intelligent de styrène et la station de contrôle se fait à travers le port série COM1. La vitesse de transmission des données est de 300 bauds. Nous devrions, plus tard, augmenter cette vitesse à 900 bauds selon l'application requise. A l'intérieur de cette routine on a installé un détecteur d'erreur. La fonction de ce détecteur est d'afficher un témoin lumineux et de générer un message d'erreur dans le cas où le système ne fonctionne pas correctement pendant l'étape d'initialisation. Ceci indiquera à l'utilisateur que le problème se situe au niveau de la station de contrôle et non au niveau des capteurs intelligents.

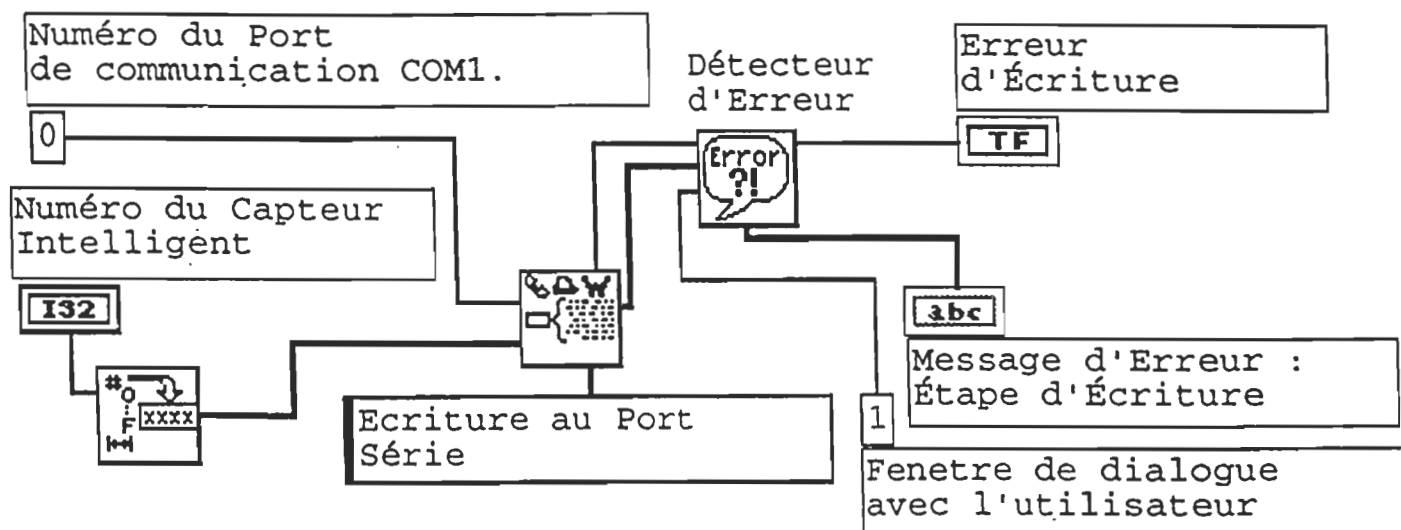
Block Diagram



Routine d'innitialisation du port série COM1

ROUTINE D'ÉCRITURE

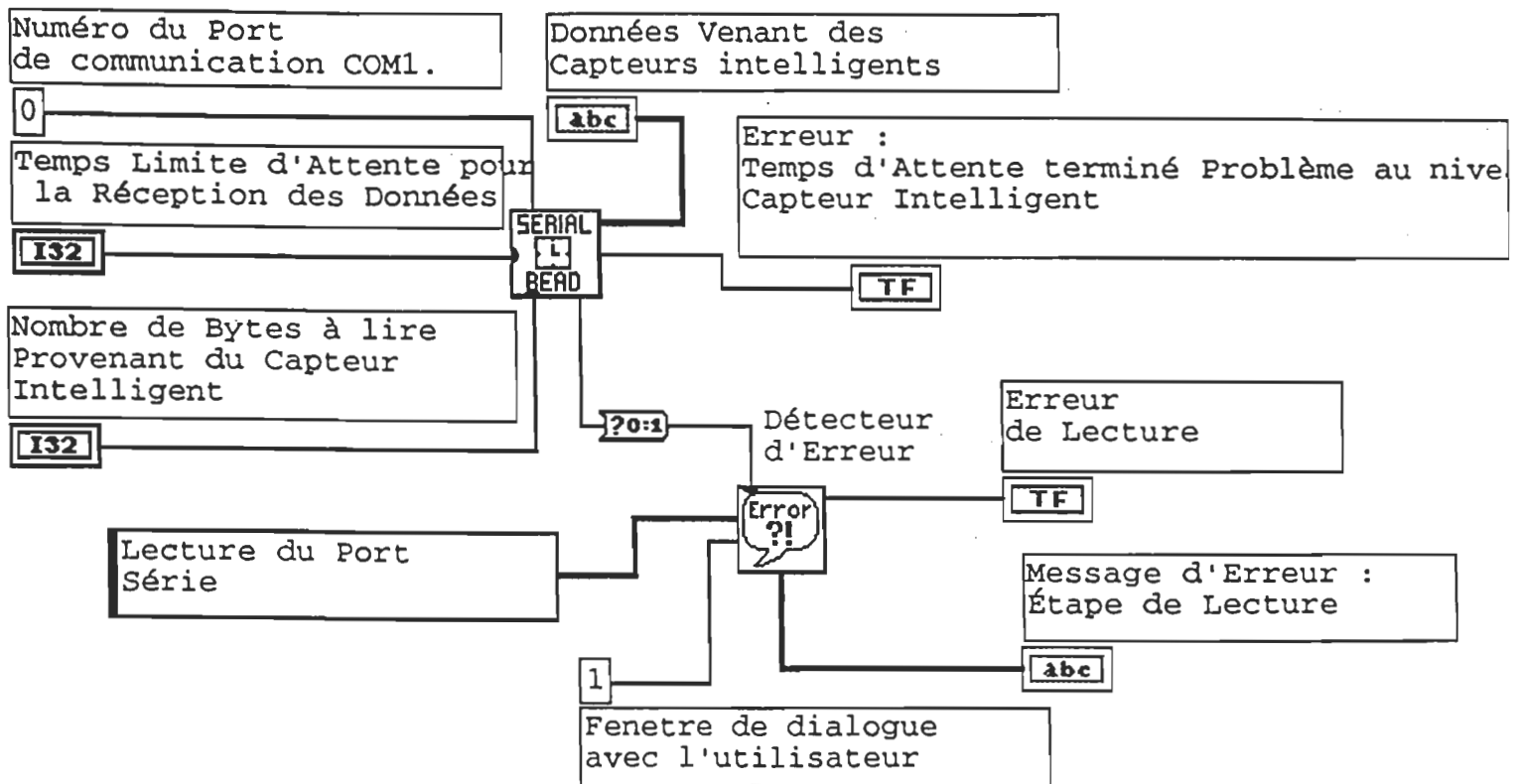
La fonction principale de cette routine est d'écrire au port série COM1 de la station de contrôle le numéro du capteur intelligent avec lequel on veut communiquer. Après l'identification du bloc capteur de son numéro, ce dernier envoie à la station de contrôle les données du styrène, de température, d'humidité et de pression. Dans le cas où le capteur ne répond pas, le détecteur d'erreur affichera un témoin lumineux et génère un message d'erreur indiquant à l'utilisateur le numéro de capteur qui présente un problème de mal fonctionnement.



Routine d'écriture au port série COM1

ROUTINE DE LECTURE

La routine de lecture permet à la station de contrôle de faire l'acquisition des données provenant des capteurs intelligents. Une fois que l'étape d'écriture est réalisée, on a prévu pendant l'étape de lecture un temps limite d'attente pour la réception des données. Ce délai d'attente, donne la possibilité au capteur intelligent d'envoyer ses données à la station de contrôle. Dans le cas où le délai est expiré sans aucune réception de données, un témoin lumineux avertisse l'utilisateur que le délai d'attente est expiré tout en ouvrant une fenêtre de dialogue. Cette dernière affiche le message d'erreur, le problème et le numéro du capteur intelligent qui fait défaut. Un autre message peut être affiché dans le cas où il y a une incompatibilité entre le message envoyé et celui reçu. Dans ce cas, le message d'erreur indiquera qu'il y a un problème au niveau du format des données envoyées à la station de contrôle.



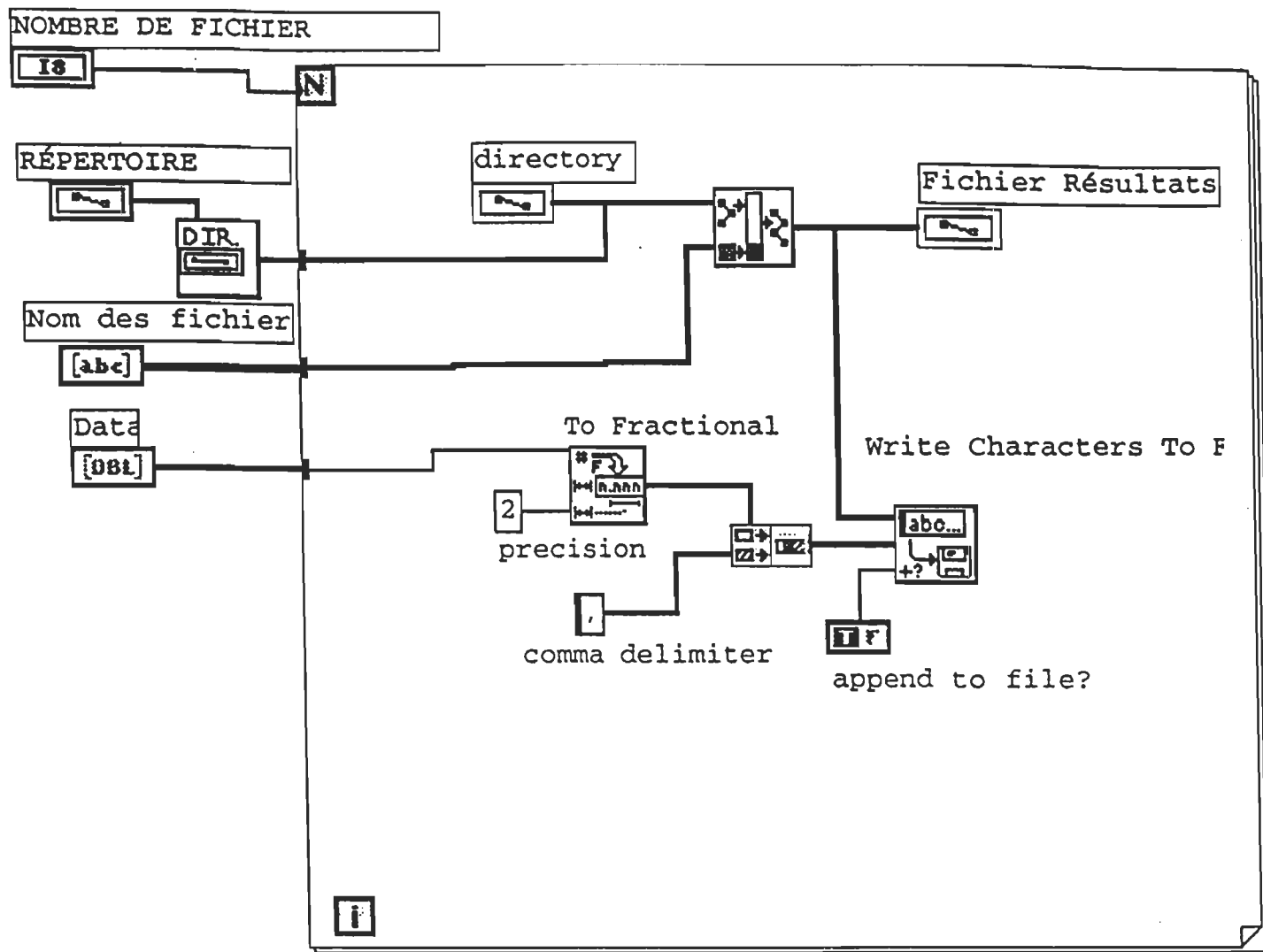
Routine de lecture des données provenant des capteurs

ROUTINE D'ENREGISTREMENT DES DONNÉES

Cette routine enregistre les données provenant des capteurs intelligents dans des fichiers facilement identifiables par l'utilisateur. La technique utilisée permet de créer un sous répertoire dans le répertoire C:\DATA qui porte comme nom la date du jour sous la forme suivante : Année Mois Jour. Ce sous répertoire contient des fichiers où on enregistre les données. Ces fichiers portent le nom des paramètres qu'on mesure (styrène, température, humidité et pression) avec le numéro du capteur qui les a transmis à la station du contrôle.

Par l'intermédiaire de cette technique, on peut facilement identifier les types de données, la provenance et la date d'acquisition, ceci nous permettra de réaliser une acquisition sans aucune interruption avec une identification facile de l'espace et du temps.

Dans le cas où il y a un problème de fonctionnement du système, les informations enregistrées ne seront pas perdues mais enregistrées sur le disque rigide de l'ordinateur. Il est conseillé à l'utilisateur de faire des copies de sauvegardes hebdomadaires pour consultation des données si nécessaire.



Routine d'enregistrement des données

ANNEXE III

Effets combinés par paires des facteurs environnementaux et techniques de protection¹

¹ Electronic Reliability Design Handbook MIL-HDBK-338-1A, U.S. Department of Defense, 1988.

Effets combinés par paires des facteurs environnementaux

1 *Combine to intensify mechanical deterioration
2 *Combine to intensify operational deterioration
3 Interdependent (one environment dependent on other)
4 Coexist with no significant combined effect
5 Weakened effect (one environment weakens effects of others)
6 Incompatible
7 Unknown (unlikely combination or indeterminate combined effect)

□ (Blank) Combination not considered (Independent environments)

* A minus sign (-) following number indicates that intensification through combination is weak or doubtful

Tableau 2

Effets combinés par paires des facteurs environnementaux

High Temperature and Humidity	High Temperature and Low Pressure	High Temperature and Salt Spray
High temperature tends to increase the rate of moisture penetration. The general deterioration effects of humidity are increased by high temperatures.	Each of these environments depends on the other. For example, as pressure decreases, outgassing of constituents of materials increases, and as temperature increases, the rate of outgassing increases. Hence, each tends to intensify the effects of the other.	High temperature tends to increase the rate of corrosion caused by salt spray.
High Temperature and Solar Radiation	High Temperature and Fungus	High Temperature and Sand and Dust
This is a man-independent combination that causes increasing effects on organic materials.	A certain degree of high temperature is necessary to permit fungus and microorganisms to grow. But, above 160°F (71°C) fungus and microorganisms cannot develop.	The erosion rate of sand may be accelerated by high temperature. However, high temperatures reduce sand and dust penetration.
High Temperature and Shock and Vibration	High Temperature and Acceleration	High Temperature and Explosive Atmosphere
Since both of these environments affect common material properties, they will intensify each other's effects. The amount that the effects are intensified depends on the magnitude of each environment in the combination. Plastics and polymers are more susceptible to this combination than metals, unless extremely high temperatures are involved.	This combination produces the same effect as high temperature and shock and vibration.	Temperature has very little effect on the ignition of an explosive atmosphere, but it does affect the air-vapor ratio which is an important consideration.
Low Temperature and Humidity	High Temperature and Ozone	
Humidity decreases with temperature, but low temperature induces moisture condensation, and, if the temperature is low enough, frost or ice.	Starting at about 300°F (150°C), temperature starts to reduce ozone. Above about 520°F (270°C) ozone cannot exist at pressures normally encountered.	
Low Temperature and Solar Radiation	Low Temperature and Low Pressure	Low Temperature and Salt Spray
Low temperature tends to reduce the effects of solar radiation, and vice versa.	This combination can accelerate leakage through seals, etc.	Low temperature reduces the corrosion rate of salt spray.
	Low Temperature and Sand and Dust	Low Temperature and Fungus
	Low temperature increases dust penetration.	Low temperature reduces fungus growth. At sub-zero temperatures, fungi remain in suspended animation.

Tableau 3

Effets combinés par paires des facteurs environnementaux (suite)

Low Temperature and Shock and Vibration	Low Temperature and Acceleration	Low Temperature and Explosive Atmosphere
Low temperature tends to intensify the effects of shock and vibration. It is, however, a consideration only at very low temperatures.	This combination produces the same effect as low temperature and shock and vibration.	Temperature has very little effect on the ignition of an explosive atmosphere. It does however, affect the air-vapor ratio which is an important consideration.
Low Temperature and Ozone	Humidity and Low Pressure	Humidity and Salt Spray
Ozone effects are reduced at lower temperatures, but ozone concentration increases with lower temperatures.	Humidity increases the effects of low pressure, particularly in relation to electronic or electrical equipment. However, the actual effectiveness of this combination is determined largely by the temperature.	High humidity may dilute the salt concentration, but it has no bearing on the corrosive action of the salt.
Humidity and Fungus	Humidity and Sand and Dust	Humidity and Solar Radiation
Humidity helps the growth of fungus and microorganisms but adds nothing to their effects.	Sand and dust have a natural affinity for water and this combination increases deterioration.	Humidity intensifies the deteriorating effects of solar radiation on organic materials.
Humidity and Vibration	Humidity and Shock and Acceleration	Humidity and Explosive Atmosphere
This combination tends to increase the rate of breakdown of electrical material.	The periods of shock and acceleration are considered too short for these environments to be affected by humidity.	Humidity has no effect on the ignition of an explosive atmosphere, but a high humidity will reduce the pressure of an explosion.
Humidity and Ozone	Low Pressure and Salt Spray	Low Pressure and Solar Radiation
Ozone meets with moisture to form hydrogen peroxide, which has a greater deteriorating effect on plastics and elastomers than the additive effects of moisture and ozone.	This combination is not expected to occur.	This combination adds nothing to the overall effects.
	Low Pressure and Fungus	
	This combination adds nothing to the overall effects.	
Low Pressure and Sand and Dust	Low Pressure and Vibration	Low Pressure and Shock or Acceleration
This combination only occurs in extreme storms during which small dust particles are carried to high altitudes.	This combination intensifies effects in all equipment categories but mostly with electronic and electrical equipment.	These combinations only become important at the hyperenvironmental levels, in combination with high temperature.

Tableau 4

Effets combinés par paires des facteurs environnementaux (suite)

Low Pressure and Explosive Atmosphere	Salt Spray and Fungus	Salt Spray and Dust
At low pressures, an electrical discharge is easier to develop, but the explosive atmosphere is harder to ignite.	This is considered an incompatible combination.	This will have the same combined effect as humidity and sand and dust.
Salt Spray and Vibration	Salt Spray and Shock or Acceleration	Salt Spray and Explosive Atmosphere
This will have the same combined effect as humidity and vibration.	These combinations will produce no added effects.	This is considered an incompatible combination.
Salt Spray and Ozone	Solar Radiation and Fungus	Solar Radiation and Sand and Dust
These environments have the same combined effect as humidity and ozone.	Because of the resulting heat from solar radiation, this combination probably produces the same combined effect as high temperature and fungus. Further, the ultraviolet in unfiltered radiation is an effective fungicide.	It is suspected that this combination will produce high temperatures.
Solar Radiation and Ozone	Fungus and Ozone	Solar Radiation and Shock or Acceleration
This combination increases the rate of oxidation of materials.	Fungus is destroyed by ozone.	These combinations produce no additional effects.
Solar Radiation and Vibration		Sand and Dust and Vibration
Under vibration conditions, solar radiation deteriorates plastics, elastomers, oils, etc., at a higher rate.		Vibration might possibly increase the wearing effects of sand and dust.
Shock and Vibration	Vibration and Acceleration	
This combination produces no added effects.	This combination produces increased effects when encountered with high temperatures and low pressures in the hyperenvironmental ranges.	
Solar Radiation and Explosive Atmosphere		
This combination produces no added effects.		

Tableau 5

Stress environnemental et techniques de protection

Environmental Stress	Effects	Reliability Improvement Techniques
High Temperature	Parameters of resistance, inductance, capacitance, power factor, dielectric constant, etc. will vary; insulation may soften; moving parts may jam due to expansion; finishes may blister; devices suffer thermal aging; oxidation and other chemical reactions are enhanced; viscosity reduction and evaporation of lubricants are problems; structural overloads may occur due to physical expansions.	Heat dissipation devices, cooling systems, thermal insulation, heat-withstanding materials.
Low Temperature	Plastics and rubber lose flexibility and become brittle; electrical constants vary; ice formation occurs when moisture is present; lubricants gel and increase viscosity; high heat losses; finishes may crack; structures may be overloaded due to physical contraction.	Heating devices, thermal insulation, cold-withstanding materials.
Thermal Shock	Materials may be instantaneously overstressed causing cracks and mechanical failure; electrical properties may be permanently altered. Crazing, delamination, ruptured seals.	Combination of techniques for high and low temperatures.
Shock	Mechanical structures may be overloaded causing weakening or collapse; items may be ripped from their mounts; mechanical functions may be impaired.	Strengthened members, reduced inertia and moments, shock absorbing mounts.
Vibration	Mechanical strength may deteriorate due to fatigue or overstress; electrical signals may be mechanically and erroneously modulated; materials and structures may be cracked, displaced, or shaken loose from mounts; mechanical functions may be impaired; finishes may be scoured by other surfaces; wear may be increased.	Stiffening, control of resonance.

Tableau 6

Stress environnemental et techniques de protection (suite)

Environmental Stress	Effects	Reliability Improvement Techniques
Humidity	Penetrates porous substances and causes leakage paths between electrical conductors; causes oxidation which leads to corrosion; moisture causes swelling in materials such as gaskets; excessive loss of humidity causes embrittlement and granulation.	Hermetic sealing, moisture-resistant material, dehumidifiers, protective coatings.
Salt Atmosphere and Spray	Salt combined with water is a good conductor which can lower insulation resistance; causes galvanic corrosion of metals; chemical corrosion of metals is accelerated.	Nonmetal protective covers, reduced use of dissimilar metals in contact, hermetic sealing, dehumidifiers.
Electromagnetic Radiation	Causes spurious and erroneous signals from electrical and electronic equipment and components; may cause complete disruption of normal electrical and electronic equipment such as communication and measuring systems.	Shielding, material selection, part type selection.
Nuclear/Cosmic Radiation	Causes heating and thermal aging; can alter chemical, physical and electrical properties of materials; can produce gases and secondary radiation; can cause oxidation and discoloration of surfaces; damages electrical and electronic components especially semiconductors.	Shielding, component selection, nuclear hardening.
Sand and Dust	Finely finished surfaces are scratched and abraded; friction between surfaces may be increased; lubricants can be contaminated; clogging of orifices, etc.; materials may be worn, cracked, or chipped; abrasion, contaminates insulations, corona paths.	Air-filtering, hermetic sealing.
Low Pressure (High Altitude)	Structures such as containers, tanks, etc. are overstressed and can be exploded or fractured; seals may leak; air bubbles in materials may explode causing damage; internal heating may increase due to lack of cooling medium; insulations may suffer arcing and breakdown; ozone may be formed; outgasing is more likely.	Increased mechanical strength of containers, pressurization, alternate liquids (low volatility), improved insulation, improved heat transfer methods.

ANNEXE IV

Liste de vérification de la conception¹

¹ Electronic Reliability Design Handbook MIL-HDBK-338-1A, U.S. Department of Defense, 1988

RELIABILITY (R) DESIGN CHECKLIST

<u>No.</u>	<u>Item Description</u>	<u>Yes</u>	<u>No</u>	<u>Remarks</u>
21	<u>Management</u>			
(a)	Does contractor have a permanent in-house <u>R</u> staff?	—	—	
(b)	Is staff composed of experienced <u>R</u> engineers?	—	—	
(c)	Does program <u>R</u> engineer report directly to program manager?	—	—	
(d)	Does <u>R</u> group have the facility/authority to interface directly with other engineering groups:			
	(1) Design?	—	—	
	(2) Systems engineering?	—	—	
	(3) Quality Control?	—	—	
	(4) Integrated Logistics support?	—	—	
	(5) Procurement?	—	—	
	(6) Test and Evaluation?	—	—	
(e)	Is <u>R</u> group representative(s) member(s) of design review team?	—	—	
(f)	Does <u>R</u> group review all drawings and specifications for adequacy of <u>R</u> requirements?	—	—	
(g)	Does <u>R</u> program engineer have sign-off authority on all drawings and specifications?	—	—	
(h)	Does <u>R</u> engineer/group review Purchase Orders and Purchase specifications to assure all parts and subassemblies are procured with adequate <u>R</u> requirements?	—	—	
(i)	Does <u>R</u> group have membership and a voice in decisions for the following:			
	(1) Material Review Board?	—	—	
	(2) Failure Review Board?	—	—	
	(3) Engineering Change Review Board?	—	—	
(j)	Is <u>R</u> group represented on surveys and quality audits of potential subcontractors?	—	—	
(k)	Is <u>R</u> group represented at subcontractor design reviews and meetings where <u>R</u> is a topic of discussion?	—	—	
(l)	Does an <u>R</u> group member(s) monitor/witness subcontractor <u>R</u> tests?	—	—	
(m)	Does <u>R</u> group contain experts in the fields of components/failure analyses?	—	—	

RELIABILITY (R) DESIGN CHECKLIST

No.	Item Description	Yes	No	Remarks
22	Design for R			
	THERMAL REQUIREMENTS:			
(a)	Have detailed thermal analysis been performed to determine component/module ambient operating temperature?	—	—	
(b)	Has a unit similar to final configuration (e.g., brassboard, preproduction unit, etc.), been instrumented to develop a thermal mapping of the design?	—	—	
(c)	Have anemometer probes been used to measure coolant air flow patterns?	—	—	
(d)	Are equipment internal cooling considerations sufficient to limit internal temperature rises to 20°C maximum?	—	—	
(e)	Are high power dissipation components (e.g., large power resistors, diodes, transformers, etc.) heat sunk?	—	—	
(f)	Where chilled water or chilled air is used for cooling have hermetically sealed components been selected due to possible moisture condensation?	—	—	
(g)	Where chilled water or chilled air is used for cooling are components shielded or otherwise protected from moisture condensation?	—	—	
(h)	Where chilled water or chilled air is used for cooling has consideration been given to removal of condensation to avoid accumulation of moisture and possible fungus growth or corrosion within the equipment?	—	—	
(i)	Are all printed circuit boards conformally coated?	—	—	
(j)	Have circuit performance tests been conducted at high and low temperature extremes to assure circuit stability over the required operating temperature range?	—	—	
(k)	Do heat conducting surfaces make good contact (no air gaps) and have low thermal resistances?	—	—	
(l)	Do surface coatings and paints provide good conduction, convection and radiation coefficients for heat transfer?	—	—	
(m)	Do adhesives where used for fastening components to PCB's or chassis have good thermal conductive properties?	—	—	
(n)	Do potting, encapsulation and conformal coating materials where used have good thermal conducting properties?	—	—	
(o)	Have differences in thermal expansion of interfacing materials been taken into account?	—	—	
(p)	Are high power dissipation components mounted directly to the chassis for better heat sinking rather than encapsulated or thermally insulated?	—	—	
(q)	Is thermal contact area between components and heat sinks kept to a maximum?	—	—	
(r)	Are components sensitive to heat located away from heat flow paths, power supplies and other high power dissipation components?	—	—	
(s)	Are air gaps or thermal insulation provided where necessary to avoid heat flow to temperature sensitive components?	—	—	
(t)	Are temperature overload devices/alarms used to prevent damage due to loss of cooling apparatus?	—	—	
(u)	Do inlet temperature ducts have filters to prevent accumulation of dirt on assemblies which would result in reduction of heat transfer?	—	—	
(v)	Do components mounted on PCB's have adequate lead lengths and are the leads formed to relieve lead stresses during thermal expansion and contraction?	—	—	

RELIABILITY (R) DESIGN CHECKLIST

<u>No.</u>	<u>Item Description</u>	<u>Yes</u>	<u>No</u>	<u>Remarks</u>
VIBRATION/SHOCK/STRUCTURAL REQUIREMENTS:				
(w)	Has analysis been performed to determine resonant frequencies to be experienced in the equipment environment?	—	—	
(x)	Have detailed vibration/shock/structural analyses been performed to validate structural integrity of the design?	—	—	
(y)	Have critical/unique assemblies been instrumented with accelerometers and tested to verify design adequacy with respect to vibration and shock transmissibility factors?	—	—	
(z)	Have structural mountings been designed to resonate away from resonant frequencies and their harmonics?	—	—	
(aa)	Have damping considerations been applied to sub-assemblies and components mounting where natural frequencies are close to expected environmental frequencies?	—	—	
(bb)	Are large components (over 1/2 oz.) being clamped or tied down to the chassis or printed circuit boards to prevent high stresses or fatigue failure of electrical leads?	—	—	
(cc)	Heavy components are mounted near corners of the chassis near mounting points for direct structural support rather than between supports?	—	—	
(dd)	Centers of gravity of heavy components are kept low close to the plane of the mounts?	—	—	
(ee)	Are cables/harnesses clamped close to terminal connections to avoid resonances and prevent stress and failure at the point of connection?	—	—	
(ff)	Do cables/wires have sufficient slack to prevent stresses during thermal changes and mechanical vibration/shock?	—	—	
(gg)	Stranded wire is used when cabling might be susceptible to fatigue failure?	—	—	
(hh)	Components and subassemblies have adequate sway space to avoid collision during vibration and shock?	—	—	
(ii)	Welding (not spot welding) and/or riveting is used for permanently attached structural members rather than nuts and bolts?	—	—	
(jj)	All component leads have minimum bend radii to avoid overstressing?	—	—	

RELIABILITY (R) DESIGN CHECKLIST

No.	Item Description	Yes	No	Remarks
23	<u>Parts Program</u>			
(a)	Does contractor have a Parts Control Board (PCB) to promote proper selection and application of parts used in the design?	—	—	
(b)	Has contractor established and maintained an up-to-date Preferred Parts List (PPL) to be used by designers?	—	—	
(c)	Has contractor established derating guidelines for derating of electrical/electronic parts electrical stresses?	—	—	
(d)	Do derating guidelines correspond to specification requirements?	—	—	
(e)	Has contractor developed part application guidelines for proper selection of part types for circuit use?	—	—	
(f)	Are military grade parts used in the design?	—	—	
(g)	Are non-standard parts used only when a military equivalent part cannot be obtained?	—	—	
(h)	Where non-standard parts are used do they have adequate qualification/test data and a history of high reliability?	—	—	
(i)	Where non-standard parts are used are they procured via specification control drawing which specifies: (1) Reliability requirements? (2) Environmental requirements? (3) Test requirements?	— — —	— — —	
(j)	Has contractor submitted non-standard part data for approval per applicable specification (e.g., MIL-STD-749/965)?	—	—	
(k)	Do parts used in the design meet the environmental requirements to which they will be subjected during use with respect to: (1) Operating temperature (plus worst case internal case temperature rises)? (2) Non-operating/storage temperature? (3) Humidity? (4) Vibration? (5) Shock?	— — — — —	— — — — —	
(l)	Have parts been reviewed for proper application, have part stresses been calculated () or measured () and do they meet: (1) Derating guidelines? (2) Application guidelines?	— —	— —	
(m)	Are established reliability (ER) components and JAN semiconductors and microcircuit devices used in the design?	—	—	
(n)	Where ER components are used, is the most representative level of all ER components used: (1) L ? (2) M ? (3) P ? (4) R ? (5) S ? (6) T ?	— — — — — —	— — — — — —	
(o)	Where JAN semiconductors (MIL-S-19500) are used, the most representative level of all such devices used are: (1) JAN ? (2) JANTX ? (3) JANTXV ?	— — —	— — —	

RELIABILITY (R) DESIGN CHECKLIST

No.	Item Description	Yes	No	Remarks
(p)	Where JAN microcircuits (MIL-M-38510) or high quality microcircuits are used the most representative level of all such devices used are: (1) MIL-M-38510 Class S ? (2) MIL-M-38510 Class B ? (3) MIL-M-38510 Class C ? (4) MIL-STD-883 Class S ? (5) MIL-STD-883 Class B ? (6) MIL-STD-883 Class C ? (7) Vendor equivalent to _____?	___	___	
(q)	Do parts meet the interchangeability requirements of MIL-STD-454 Requirement 7?	___	___	
(r)	Do all parts selected meet the life requirements of the equipment?	___	___	
(s)	Are handling requirements specified for critical and delicate parts susceptible to damage, degradation, contamination from shock, vibration, static electric discharge, uncleanness, etc.?	___	___	
(t)	Are assembly and cleaning procedures specified to prevent damage to components during assembly on PCB's, chassis, etc.?	___	___	
(u)	Have dominant failure modes of a particular part type been considered in the selection of that part?	___	___	
(v)	Are fixed rather than variable components (such as resistors, capacitors, inductors, etc.) used in the design wherever possible?	___	___	
(w)	Are all relays, motors, dynamotors, rotary power converters, etc. suppressed so as not to produce excessive spikes or transients during operation?	___	___	
(x)	Are all semiconductor devices silicon rather than Germanium?	___	___	
(y)	Plastic coated and/or encapsulated semiconductor devices are not used?	___	___	
(z)	Do all microcircuits have hermetically sealed ceramic cases rather than plastic cases?	___	___	
(aa)	Do all microcircuits used have at least two potential suppliers?	___	___	
(bb)	Do all unused gates of a digital microcircuit have inputs grounded?	___	___	
(cc)	Are the number of expandable gates limited to no more than 75% of allowable number of expandables?	___	___	
(dd)	Where humidity is not controlled are hermetically sealed resistors, capacitors, relays, etc., used?	___	___	
(ee)	Are all power supplies designed and manufactured in-house?	___	___	
(ff)	Are parts, even MIL-M-38510, JAN TX, Established Reliability (ER) parts screened at incoming inspection: (1) 100%? (2) Sampling plan per _____? (3) Environmentally _____?	___	___	

RELIABILITY (R) DESIGN CHECKLIST

No.	Item Description	Yes	No	Remarks
MISCELLANEOUS REQUIREMENTS:				
(kk)	Has consideration been given to avoid the use of dissimilar metals?	—	—	
(ll)	Have the PCB's been designed for the following considerations:			
	(1) PCB material is compatible with storage and operating temperature (plus operating temperature rises) with respect to:			
	(1) PCB material?	—	—	
	(2) Metal cladding/bonding strengths?	—	—	
	(3) Board warping?	—	—	
	(2) PCB resistivity is sufficiently high to meet circuit leakage current requirements even under high humidity?	—	—	
	(3) PCB arc resistance is sufficiently high where high voltages are present?	—	—	
	(4) PCB dielectric constraint is sufficiently low to prevent building up of unwanted capacitances?	—	—	
	(5) PCB flexural strengths (function of board material and dimensions) is sufficient to meet structural and vibration requirements?	—	—	
	(6) PCB conductors width is sufficient to handle maximum current flow without harmful heat generation or resistance drop?	—	—	
	(7) PCB's have plated through holes to aid in soldering of lead electrical connections?	—	—	
	(8) PCB conductor spacings have a minimum spacing based upon voltage between conductor (e.g., .025" per 150 volts peak)?	—	—	
	(9) PCB conductor paths are spaced and designed to keep capacitance between conductors to a minimum?	—	—	
	(10) Are PCB's conformally coated?	—	—	
(mm)	Where encapsulation, embedding and potting used, does the material have:			
	(1) Good thermal conductivity for heat transfer?	—	—	
	(2) Good electrical isolation/dielectric?	—	—	
	(3) Provide dampening for shock and vibration?	—	—	
	(4) Thermal expansion coefficients which match those of items encapsulated?	—	—	
	(5) Will not crack or shatter under vibration and mechanical and thermal shock?	—	—	
	(6) Has good chemical stability under anticipated use environments?	—	—	
(nn)	Have worst case analyses or statistical variation of parameters been conducted to determine required component electrical tolerances considering:			
	(1) Manufacturing tolerances?	—	—	
	(2) Tolerances due to temperature changes?	—	—	
	(3) Tolerances due to aging?	—	—	
	(4) Tolerances due to humidity?	—	—	
	(5) Tolerances due to high frequency or other operating constraints?	—	—	
(oo)	Has redundancy been considered for critical functions where practical?	—	—	
(pp)	Where redundancy is used, has considerations been given to avoid common mode failure situations which could disable all redundant circuits?	—	—	

RELIABILITY (R) DESIGN CHECKLIST

<u>No.</u>	<u>Item Description</u>	<u>Yes</u>	<u>No</u>	<u>Remarks</u>
(qq)	Has design practices been applied to obtain RFI suppression such as:	-		
	(1) Use alternating current non-commutating machinery rather than direct current machinery when feasible?	—	—	
	(2) Provide optimum interference suppression with two twisted wires in a common shield whenever wire pairs can be used?	—	—	
	(3) Use short wires in preference to long wires?	—	—	
	(4) Filter power lines to remove harmonics and other types of inherent interference?	—	—	
	(5) Mount filters as close to interference sources as possible without altering the effectiveness of the filter?	—	—	
	(6) Use bonding techniques to insure that good electrical contact is made between chassis, conduit, shielding, connectors, structural and housing metal parts?	—	—	
	(7) Remove non-conducting coatings from bolts, nuts, and tapped holes?	—	—	
	(8) Internally shield individual sections of equipment which are either highly susceptible to interference or which generate interference. For example, the r-f input stages and local oscillators should be shielded individually?	—	—	
	(9) Use a bandwidth consistent with the minimum possible value for the received signal. This often improves the signal-to-noise ratio?	—	—	
	(10) Use direct current filament sources where practicable?	—	—	
	(11) Ground center tap of filament transformer secondary winding to reduce hum?	—	—	
	(12) Avoid the use of gaseous lighting devices in the vicinity of sensitive wiring or electronic equipment?	—	—	
	(13) Do not cable noisy and clean leads together?	—	—	
	(14) Never route cables near known interference sources?	—	—	
	(15) Do not use shields or metal structures for return current paths?	—	—	
	(16) Avoid the use of corrosion preventive compounds with high insulating qualities at bond joints?	—	—	
(rr)	Have considerations been given to preclude damage due to:			
	(1) Installation?	—	—	
	(2) Handling?	—	—	
	(3) Transportation?	—	—	
	(4) Storage?	—	—	
	(5) Shelf Life?	—	—	
	(6) Packaging?	—	—	
	(7) Maintenance environment?	—	—	
	(8) Other environments:			
	(a) Humidity?	—	—	
	(b) Fungus?	—	—	
	(c) Sand and dust?	—	—	
	(d) Salt atmosphere?	—	—	
(ss)	Has reliability been considered as a factor in all tradeoff studies affecting equipment reliability?	—	—	

RELIABILITY (R) DESIGN CHECKLIST

<u>No.</u>	<u>Item Description</u>	<u>Yes</u>	<u>No</u>	<u>Remarks</u>
24	<u>Developmental Test Program</u>			
(a)	Is contractor conducting a developmental test program?	—	—	
(b)	Does developmental test program include:			
	(1) All critical assemblies?	—	—	
	(2) Each assembly with a unique form factor?	—	—	
	(3) Critical non-standard parts?	—	—	
(c)	Does developmental testing include environmental testing at or above the levels specified for qualification:			
	(1) High and low temperature?	—	—	
	(2) Vibration?	—	—	
	(3) Shock?	—	—	
	(4) Humidity?	—	—	
(d)	Are performance requirements checked over required operating temperature levels?	—	—	
(e)	Are life tests or reliability tests of critical components/subassemblies being or have they been conducted?	—	—	
(f)	Is "Step Stress" testing being performed on subassemblies, etc., to determine design margins?	—	—	
(g)	Is developmental test program monitored by the reliability group or does the reliability group provide inputs to developmental testing?	—	—	
(h)	Are failure data and maintenance data collected during developmental testing for determining need for reliability improvement?	—	—	

RELIABILITY (R) DESIGN CHECKLIST

<u>No.</u>	<u>Item Description</u>	<u>Yes</u>	<u>No</u>	<u>Remarks</u>
25	<u>Reliability Analyses</u>			
(a)	Have the following reliability analyses been performed:			
	(1) Reliability Mathematical Models?	—	—	
	(2) Reliability Apportionments?	—	—	
	(3) Reliability Predictions?	—	—	
	(4) Failure Modes and Effects Analyses?	—	—	
	(5) Criticality Analyses?	—	—	
	(6) Circuit Analysis (nominal and worst cases)?	—	—	
	(7) Thermal Analysis?	—	—	
	(8) Sneak Circuit Analysis?	—	—	
(b)	Do predictions meet apportioned values?	—	—	
(c)	Do predictions meet numerical reliability specification requirements?	—	—	
(d)	Have the results of the predictions been used to increase equipment reliability by:			
	(1) Reduction of circuit complexity?	—	—	
	(2) Reduction of ambient temperature conditions?	—	—	
	(3) Reduction of internal temperature rises?	—	—	
	(4) Reduction of part stresses by further derating?	—	—	
	(5) Increase of part quality levels?	—	—	
	(6) Addition of redundancy?	—	—	
(e)	Has a numerical approach for Criticality Analysis been used?	—	—	
(f)	Does the numerical criticality analysis consider:			
	(1) Frequency of failure?	—	—	
	(2) Degree of effect on system performance?	—	—	
	(3) Difficulty to diagnose and/or repair?	—	—	
	(4) Personnel or equipment safety?	—	—	
(g)	Have all critical modes of system failure been identified?	—	—	
(h)	Have critical items been ranked as to criticality?	—	—	
(k)	Has the use of limited life items been kept to a minimum?	—	—	
(l)	Have the analyses considered the effects of storage, transportation and handling on failure modes, effects and failure rates?	—	—	
(m)	Has the use of circuit analysis provided a stable, design over the worst case conditions?	—	—	
(n)	Has protective circuitry been utilized in the equipment design?	—	—	

RELIABILITY (R) DESIGN CHECKLIST

<u>No.</u>	<u>Item Description</u>	<u>Yes</u>	<u>No</u>	<u>Remarks</u>
26	<u>Burn-in Program</u>			
(a)	Does the contractor impose burn-in at: (1) Component level? (2) Subassembly/module level? (3) Equipment/system level?	____ ____ ____	____ ____ ____	
(b)	Is burn-in performed under: (1) Temperature (elevated)? (2) Temperature cycling? (3) Vibration?	____ ____ ____	____ ____ ____	
(c)	Are lengths of burn-in adequate for each level?	____	____	
(d)	Do spares receive same burn-in as modules/ subassembly level?	____	____	
(e)	Do all equipments/systems receive the same amount of burn-in?	____	____	
(f)	Does contractor have a failure free burn-in re- quirement prior to acceptance of the equipment?	____	____	
(g)	Is random vibration performed? (1) Equipment level? _____ (2) "g" level? _____ (3) Frequency range? _____ (4) Time duration? _____	____ ____ ____ ____	____ ____ ____ ____	

RELIABILITY (R) DESIGN CHECKLIST

<u>No.</u>	<u>Item Description</u>	<u>Yes</u>	<u>No</u>	<u>Remarks</u>
27	<u>Failure Reporting Analysis and Corrective Action</u> <u>(FRACA) Program</u>			
(a)	Has contractor implemented a FRACA program?	—	—	
(b)	Does FRACA program cover failures during:			
	(1) Source inspection at subcontractor's plant?	—	—	
	(2) Incoming inspection?	—	—	
	(3) In-process inspection?	—	—	
	(4) Development tests?	—	—	
	(5) Subassembly/module test?	—	—	
	(6) Equipment integration and checkout?	—	—	
	(7) Equipment burn-in?	—	—	
	(8) Equipment formal tests:			
	(a) Acceptance tests?	—	—	
	(b) Environmental/qualification tests?	—	—	
	(c) Reliability/Maintainability tests?	—	—	
(c)	Does contractor have in-house facilities for performing detailed failure analysis?	—	—	
(d)	Is failure analysis conducted for all failures?	—	—	
(e)	Are failures summarized by part number and failure type to determine trends and patterns?	—	—	
(f)	Has contractor established thresholds (percent defective or failure rate) for determining need for corrective action?	—	—	
(g)	Does failure report form contain the necessary information with regards to:			
	(1) Identification of failed part subassembly, assembly, etc.?	—	—	
	(2) Elapsed time meters (for failure at equipment level)?	—	—	
	(3) Failure symptoms?	—	—	
(g)	(4) Effect of failure on system/equipment?	—	—	
	(5) Test and environmental conditions at time of failure?	—	—	
	(6) Suspected cause of failure?	—	—	
(h)	Is the same type of FRACA program imposed upon subcontractors of critical subassemblies?	—	—	
(i)	Are subcontractor failure reports included in contractor failure summaries?	—	—	
(j)	Are all failure reports, analyses and corrective actions reviewed by the reliability group?	—	—	
(k)	Are failure trends monitored by the reliability group?	—	—	
(l)	Are corrective actions involving design changes tested in the equipment for an adequate period of time prior to their formalization?	—	—	
(m)	Are corrective action investigations reopened upon a recurrence of the same type of failure?	—	—	
(n)	Are proposed corrective actions referred to the Procuring Activity for concurrence?	—	—	

RELIABILITY (R) DESIGN CHECKLIST

<u>No.</u>	<u>Item Description</u>	<u>Yes</u>	<u>No</u>	<u>Remarks</u>
28	<u>Reliability Demonstration Test Planning</u>			
(a)	Will test simulate operating profile that will be seen aboard ship?	—	—	
(b)	Will all modes of equipment operation be tested?	—	—	
(c)	Is definition of failure in accordance with contract specification requirements?	—	—	
(d)	Are relevant and non-relevant failure definitions adequately defined?	—	—	
(e)	Will test be performed under environmental levels specified by the contract specifications?	—	—	
(f)	Will burn-in to be performed on reliability test units be no more or no less than that specified for production units?	—	—	
(g)	Non-operating and equipment standby time will be discounted from applicable test time for validating reliability, true?	—	—	
(h)	No Preventive Maintenance other than that contained in technical manuals and approved by the Navy will be performed during the test, true?	—	—	
(i)	Performance checks capable of checking the complete equipment failure rate, performed no less frequently than daily have been defined for the test, true?	—	—	
(j)	Test will be performed per agreed schedule, true?	—	—	
(k)	Procuring Activity will be notified of the exact test date at least 30 days prior to the test, true?	—	—	
(l)	All interfaces are simulated or stimulated?	—	—	
(m)	All interfaces are real?	—	—	
(n)	If interfaces are real, is GFE required?	—	—	
(o)	If GFE is required, has a request been made to obtain GFE?	—	—	
(p)	Is test DD 1423 documentation on schedule?	—	—	